

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

А.К. ВНУКОВ

**ЗАЩИТА
АТМОСФЕРЫ
от выбросов
энергообъектов**

СПРАВОЧНИК



**МОСКВА
ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ**

1992

ББК 31.37

В60

УДК 621.311.22:502.7 (035.5)

Рецензент Э. П. Волков

Внуков А. К.

В60 Защита атмосферы от выбросов энергообъектов:
Справ.— М.: Энергоатомиздат, 1992.—176 с.: ил.

ISBN 5-283-00105-9

Систематизированы важнейшие директивные и нормативные документы по поддержанию чистоты атмосферного воздуха. Приведены основные данные о средствах измерения концентраций токсичных веществ и их выбросов в атмосферу. Даны методика расчета массы токсичных выбросов и обусловленных ими приземных концентраций, а также методы эколого-экономической оптимизации. Описаны санитарно-защитные зоны и газоочистное оборудование.

Для инженерно-технических работников, занятых проектированием и эксплуатацией ТЭС, котельных и промпредприятий.

2203060000-040

В 160-91
051(01)-92

ББК 31.37

Справочное издание

Внуков Алексей Карлович

ЗАЩИТА АТМОСФЕРЫ ОТ ВЫБРОСОВ ЭНЕРГООБЪЕКТОВ

Зав. редакцией **И. В. Волобуева**

Редактор издательства **М. И. Кузнецова**

Художественный редактор **В. А. Гозак-Хозак**

Технический редактор **В. В. Хапаева**

Корректор **Л. С. Тимохова**

ИБ № 3063

Сдано в набор 06.09.91 Подписано в печать 10.12.91 Формат 60×88^{1/16}.
Бумага офсетная № 2 Гарнитура Таймс. Печать офсетная Усл.
печ. л. 10,78 Усл. кр.-отт. 11,02 Уч.-изд. л. 13,0 Тираж 5000 экз.
Заказ 3151 С040

Энергоатомиздат. 113114 Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени
МПО «Первая Образцовая типография» Министерства печати и ин-
формации Российской Федерации. 113054, Москва, Валовая, 28.

ISBN 5-283-00105-9

© Автор, 1992

ПРЕДИСЛОВИЕ

Планируя сооружение новых и расширение или реконструкцию действующих объектов, а также комплекс мер по оздоровлению воздушного бассейна уже сложившихся городов и промышленных районов, необходимо учитывать разнообразие факторы из области техники, физики атмосферы, медицины и экономики, сведения о которых рассредоточены в специализированной литературе разных ведомств, порой малотиражной и поэтому труднодоступной для специалистов.

Значительная часть этой литературы носит директивный характер, т. е. не содержит разъяснения физической сущности явления и взаимодействия отдельных документов, а в отдельных случаях эти документы плохо согласовываются друг с другом.

Целью настоящего справочника является попытка объединения нормативных документов с одновременным разбором их физической (экологической) сущности, критической оценкой и взаимной увязкой. В отдельных случаях материал дополнен исследованиями, опубликованными после введения соответствующих нормативов.

При написании настоящей работы автор придерживался принципа использования только тех материалов, которые прошли компетентную апробацию и применяются на практике как работниками промышленности, так и контролирующими экологическую обстановку ведомствами (Минздрав, Госком-природа) и их территориальными подразделениями.

В книге принята методика максимального приближения к текстам излагаемых нормативных материалов.

Автор приносит благодарность проф. Э. П. Волкову за рецензирование этой книги.

Замечания и пожелания по книге автор просит сообщить по адресу: 113114, Москва, Шлюзовая наб., 10, Энергоатомиздат.

Автор

Раздел первый

СОСТОЯНИЕ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА И РОЛЬ ЭНЕРГЕТИКИ В ЕГО ЗАГРЯЗНЕНИИ

1.1. МЕЖДУНАРОДНЫЕ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ НОРМАТИВЫ ТОКСИЧНЫХ ВЫБРОСОВ КОТЕЛЬНОМИ УСТАНОВКАМИ

Предельно допустимые выбросы вредных веществ (ПДВ) промышленными предприятиями в атмосферу регламентируются ГОСТ 17.2.3.02-78 [22] и ОНД-86 [2]. Указанные документы определяют ПДВ каждого конкретного предприятия из условия, чтобы сумма создаваемых всеми этими предприятиями приземных концентраций данного вещества или их комбинаций не превышала предельно допустимой концентрации (ПДК) (см. гл. 3 и 4). Таким образом, ПДВ, коль скоро они утверждены, являются всего лишь средством текущего контроля за деятельностью предприятия и никоим образом не отражают экологического уровня данного производства. Как следует из предложенной М. Е. Берляндом формулы рассеивания (3.1), необходимые приземные концентрации могут быть достигнуты сокращением выбросов M или увеличением высоты дымовой трубы H . Поскольку стоимость строительства труб и сто-

Таблица 1.1. Предельно разрешенные концентрации (ПРК) выбросов

Страна	Мощность блока, МВт		Топливо	Коэффициент избытка воздуха	КПД очистки газов	
	электрическая	заданная нормами			NO _x	SO ₂
ФРГ	> 100	300 тепловая	Т	1,4	—	85
			Ж	1,16	—	85
			Г	1,16	—	—
Япония	> 200	700 · 10 ³ м ³ /ч	Т	1,4	—	—
			Ж	1,16	—	—
			Г	1,16	—	—
США	> 73	> 73	Т	1,4	65	70 - 90
			Ж	1,16	30	00 - 90
			Г	1,16	25	00 - 90
СССР	> 160	> 160	К	1,4	—	—
			Б	1,4	—	—
			Ж	1,16	—	—
			Г	1,16	—	—

Примечание. Т — твердое, Ж — жидкое, Г — газ, К — каменный уголь, Б — бурый уголь.

имость их эксплуатации на несколько порядков меньше, чем стоимость и обслуживание газоочистки, именно высокие трубы стали основным средством снижения концентраций оксидов серы и азота в приземном слое. Сегодня высота труб уже приближается к 500 м, и технических пределов их дальнейшего роста не просматривается. Соответственно не установлены пределы и росту массы выбросов. Попытка ограничить высоту труб (до 250 м) дела не меняет. В тех случаях, когда фоновые концентрации выше ПДК, сооружение, реконструкция или расширение энергетических объектов по действующим правилам вообще недопустимы.

В индустриально развитых странах наряду с нормированием приземных концентраций действуют правила, регламентирующие предельно разрешенные концентрации (ПРК) вредных веществ в отходящих газах энергетических или, как их иногда называют, топливоиспользующих установок (табл. 1.1). Предельно разрешенные концентрации вредных веществ (ПРК) относятся к 1 м³ отходящих газов при нормальных условиях или 1 МДж освобожденной в топке химической энергии топлива (г/м³, г/МДж). Последняя величина представляется более объективной, так как стимулирует экономию топлива. Для пересчета названных концентраций может быть использована балансовая формула

$$c_{\text{Дж}} = \frac{c_{\text{об}}}{Q_{\text{н}}} [V_{\text{ог}} + (\alpha - 1) V_0], \quad (1.1)$$

где $Q_{\text{н}}$ — теплота сгорания топлива, МДж; $V_{\text{ог}}$ и V_0 — теоретические объемы воздуха и продуктов сгорания, м³/кг (нормальные); α — коэффициент избытка воздуха в сопоставимых сечениях. При пересчетах на фактическую температуру отходящих газов t_{yx} в правой части надо добавить множитель $(t_{\text{yx}} + 273)/273$.

При подготовке настоящего раздела использованы материалы ВТИ им. Ф. Э. Дзержинского «Изменения и дополнения разделов норм технологического проектирования тепловых электрических станций» (Л. А. Мамрукова, Л. И. Кропп, Л. П. Яновский, К. Е. Зегер, В. Р. Котлер, И. Н. Шмиголь и др.).

вредных веществ котельными установками

Концентрация, г/МДж (г/м³)

NO _x	SO ₂	Зола
0,086 (0,2)	0,17 (0,4)	0,025 (0,05)
0,043 (0,15)	0,17 (0,4)	0,025 (0,05)
0,034 (0,1)	—	—
0,176 (0,41)	0,22 (0,55)	— (0,1)
0,09 (0,28)	0,22 (0,55)	— (0,05)
0,045 (0,14)	—	—
0,258 (0,6)	0,516—0,258 (1,2—0,24)	0,0129 (0,04)
0,129 (0,3)	0,344—0,086 (0,85—0,24)	0,0129 (0,04)
0,086 (0,2)	0,344—0,086 (0,85—0,24)	—
0,28 (0,72)	—	0,4—0,08 (0,8—0,15)
0,25 (0,52)	—	—
0,13 (0,4)	—	—
0,13 (0,37)	—	—

Т а б л и ц а 1.2. Значения ПРК выбросов оксидов азота при $\alpha = 1,4$, г/МДж (г/м³)

Топливо	Котлы первой категории		Котлы высшей категории	
	Производительность котлов, т/ч			
	< 420	> 420	< 420	> 420
Природный газ	0,13 (0,32)	0,16 (0,39)	0,12 (0,3)	0,14 (0,35)
Мазут	0,13 (0,34)	0,16 (0,44)	0,12 (0,3)	0,13 (0,35)
Бурые угли и сланцы для топок с твердым шлакоудалением	0,21 (0,49)	0,23 (0,52)	0,17 (0,4)	0,18 (0,43)
Бурые угли для топок с жидким шлакоудалением	0,24 (0,55)	0,24 (0,55)	0,22 (0,5)	0,22 (0,5)
Каменные угли с приведенным содержанием азота 0,05% кг/МДж и АШ	0,25 (0,6)	0,31 (0,75)	0,21 (0,5)	0,21 (0,5)
Каменные угли с приведенным содержанием азота 0,05% кг/МДж и торф	0,31 (0,79)	0,35 (0,89)	0,26 (0,65)	0,28 (0,7)

Поскольку в настоящее время идет разработка отечественной системы ПРК, ниже дано описание аналогичных зарубежных норм.

В Федеративной Республике Германии ПРК вредных веществ в дымовых газах впервые были установлены в 1964 г. и пересматривались в сторону ужесточения 3 раза. В табл. 1.1 представлены ПРК 1984 г. Для диоксида серы наряду с ПРК дополнительным условием является обеспечение 85% очистки дымовых газов от этого соединения, что и показано в соответствующих графах таблицы. Для оксида азота при сжигании угля в новых котлах тепловой мощностью более 300 МВт (более 100 МВт электрической мощности)

Т а б л и ц а 1.3. Предельно разрешенные концентрации оксидов азота ПРК

Срок выпуска котлов	Природный газ при $O_2 = 3\%$	Жидкое топливо при $O_2 = 3\%$		Каменные угли при $O_2 = 6\%$	
				$V > 22\%$, $S_n < 0,1\% \cdot \text{кг/МДж}$	$V < 22\%$
До 01.91	0,13 (370)	160—820 т/ч 640—4000 т/ч	0,12 (370) 0,13 (400)	160—820 т/ч 640—2650 т/ч	0,25 (640) 0,28 (720) *
С 01.91 по 01.96	0,13/0,08 *	400—950 т/ч	0,12 (370)	0,23 (590)	0,23 (590)
	370/230 *	2650—4000 т/ч	0,13/0,08 * (400/245 *)		

* С очисткой дымовых газов каталитическим методом.

** Топка с жидким шлакоудалением.

ПРК составляет $0,25 \text{ г/м}^3$ и менее. При тепловой мощности $300 \cdot 500 \text{ МВт}$ ПРК повышается до $0,4 \text{ г/м}^3$. При сжигании жидкого топлива ПРК соответствующих градаций тепловой мощности составляют $0,15$ и $0,3 \text{ г/м}^3$, при сжигании газа соответственно $0,1$ и $0,2 \text{ г/м}^3$.

В Соединенных Штатах Америки нормирование ПРК начато с 1971 г. Ныне действуют нормы, установленные Агентством по охране окружающей среды (ЕРА) в 1978 г. Новый стандарт распространяется на котлы, обеспечивающие электрическую конденсационную мощность более 73 МВт . Стандарт предусматривает снижение выбросов диоксидов серы и азота всех видов топлив. Необходимый уровень (КПД) снижения выбросов диоксида серы устанавливается в зависимости от выброса C_n , г/МДж , который бы имел место при отсутствии каких бы то ни было улавливающих устройств. Так, для твердого топлива при $C_n > 5,16 \text{ г/МДж}$ (10 г/м^3) КПД сероочистки должен превышать 90% , а ПРК не должна превышать $0,516 \text{ г/МДж}$. При $5,16 > C_n > 2,58 \text{ г/МДж}$ КПД сероочистки — 90% и ПРК $0,516 \text{ г/МДж}$. При $> 2,58 > C_n > 0,086$ КПД составляет $90\text{—}70\%$ и ПРК не более $0,258 \text{ г/МДж}$. Наконец, при $C_n < 0,086 \text{ г/МДж}$ ($0,24 \text{ г/м}^3$) требуется КПД 70% . Для жидкого топлива с $C_n > 3,44 \text{ г/МДж}$ (10 г/м^3) предлагается КПД сероулавливания более 90% и ПРК менее $0,344 \text{ г/МДж}$. При $3,44 > C_n > 0,086 \text{ г/МДж}$ КПД сероулавливания варьируется от 0 до 90% . Нижнему пределу последнего интервала — $0,086 \text{ г/МДж}$ отвечает мазут с серосодержанием ($0,2\text{—}0,3\%$).

Согласно «Нормам технологического проектирования электростанций», действующих в Минэнерго СССР, ПРК установлены только для выбросов золы. Для КЭС мощностью более 2400 МВт и ТЭЦ более 500 МВт при приведенной зольности топлива менее 1% кг/МДж рекомендуется устанавливать электрофильтры с КПД не ниже 99% . Если приведенная зольность более 1% кг/МДж , КПД электрофильтров нужно повысить до $99,5\%$. В интервале мощностей КЭС от 1000 до 2400 МВт и ТЭЦ от 300 до 500 МВт для котлов разной производительности, г/МДж (мг/м^3).

Экибастузский уголь, $O_2 = 6\%$, $A^c < 53\%$		Бурый уголь при $O_2 = 6\%$		
		$W_n < 3,8\% \cdot \text{кг/МДж}$		$3,8 < W_n < 6\% \cdot \text{кг/МДж}$
400 — 820 т/ч	0,25 (640)	220 — 670 т/ч	0,2/0,22 ** (470/520 **)	0,2 (470)
1650 т/ч	0,27 (690)	950 — 2650 т/ч	0,22 (520)	
400 — 820 т/ч	0,24 (615)	400 — 820 т/ч	0,17/0,2 ** (400 — 470 **)	0,2 (470)
1650 т/ч	0,25 (640)	950 — 2650 т/ч	0,2 (470)	

КПД электрофильтров в зависимости от приведенной зольности соответственно 98 и 99%. При мощности КЭС от 500 до 1000 МВт и ТЭЦ от 150 до 300 МВт КПД золоулавливающих устройств соответственно 96 и 98%. Наконец, для КЭС и ТЭЦ малой мощности рекомендуется КПД 92 и 96%.

В системе Минэнергомаши СССР разработан ОСТ 108.005.18-84 на ПРК оксидов азота (табл. 1.2). С 1987 г. для котлов паропроизводительностью выше 160 т/ч ПРК оксидов азота регламентируются госстандартом (табл. 1.3). Выбросы диоксидов серы названные выше ОСТ и ГОСТ не регламентируют. Между тем даже при отсутствии специальной аппаратуры часть серы связывается щелочными компонентами золы (табл. 1.4). Особенно велик уровень связывания у канско-ачинских углей, где количество соединений кальция и магния в 4 раза превышает необходимое для связывания серы стехиометрическое отношение. Как видно из таблицы, способы сжигания являются мощным средством снижения выбросов диоксида серы. С учетом гигантских запасов и перспектив КАТЭК создание котлов, ориентированных на связывание серы золой, является одним из возможных решений проблемы ограничения выбросов диоксида серы этими топливами.

Таблица 1.4. Доля диоксидов серы, связываемых золой топлива

Топливо	Количество
Торф	0,15
Сланцы эстонские и ленинградские	0,8
Остальные сланцы	0,5
Экибастузский уголь	0,02
Березовские угли Канско-Ачинского бассейна:	
для топок с твердым шлакоудалением	
при низкотемпературном сжигании	0,5
для топок с жидким шлакоудалением	0,2
Остальные угли Канско-Ачинского бассейна:	
для топок с твердым шлакоудалением	0,2
для топок с жидким шлакоудалением при	
высокотемпературном сжигании	0,05
Прочие угли	0,1
Мазут	0

Приведенные выше национальные стандарты ПРК отражают компромисс между требованием экологии и затратами на технологию газоочистки. Отсюда и тенденция к ужесточению ПРК.

1.2. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДА ВЫБРАСЫВАЕМЫХ КОТЛАМИ ТОКСИЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

1.2.1. Прямые измерения

Масса выбрасываемых котлом или другим топливоиспользующим устройством токсичных веществ в единицу времени (расход) зависит от состава топлива, вида, состояния и режима оборудования и множества других факторов. В связи с этим единственно достоверными являются прямые

измерения определяющих этот расход параметров, а именно: концентрации c , мг/м³, и расхода газов V , м³/с. Оба эти параметра должны быть усреднены по контрольному сечению. Концентрации и расход газов принято относить к нормальным условиям: 0° С; 1 ат. Соответствующий измеренным c и V расход токсичных соединений, г/с, определяется из выражения

$$P = 10^{-3} cV. \quad (1.2a)$$

Надо иметь в виду, что усреднение концентрации и расхода допустимо только на ограниченных отрезках времени, когда их изменения не превышают $\pm 10\%$ или если известно, что концентрация прямо пропорциональна расходу газов. Как правило, такой пропорциональности нет и для длительных периодов, т. е.

$$P = \int_0^{\tau} cV d\tau. \quad (1.26)$$

Техника измерения расходов газов может быть заимствована читателем из любой методики испытания котельных установок [19]. Измерения концентраций описаны в разд. 2.

1.2.2. Расчет расходов токсичных выбросов энергетическими котлами по конструктивным и режимным параметрам

Отсутствие средств автоматического измерения концентраций, а также необходимость оценивать выбросы на стадии проектирования были причиной создания так называемого «расчетного метода». Расчетный метод использует балансовые и эмпирические модели, опирающиеся на известные проектировщику и персоналу эксплуатации традиционные теплотехнические параметры. Излагаемый ниже математический аппарат разработан сотрудниками ВТИ им. Ф. Э. Дзержинского Л. А. Мамруковой, А. Ф. Гавриловым, Г. М. Крейденой, А. Д. Горбаненко и В. Р. Котляром. О точности этого аппарата будет сказано применительно к каждому виду выбросов.

Твердые частицы. Расход выбрасываемых в атмосферу летучей золы и несгоревшего топлива (г/с, т/год) осуществляется по балансовому уравнению

$$P_{\text{тв}} = B \frac{A^p}{100 - \Gamma_{\text{ун}}} a_{\text{ун}} (1 - \eta), \quad (1.3a)$$

где B — расход натурального топлива, т/год, г/с; A^p — зольность топлива на рабочую массу, %; $a_{\text{ун}}$ — доля золы в уносе; η — доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях (принимается по результатам измерений не выше годичной давности); $\Gamma_{\text{ун}}$ — содержание горючего в уносе, % масс.

При отсутствии эксплуатационных данных о содержании горючего в уносе количество выбрасываемых твердых частиц рассчитывается по формуле

$$P_{\text{тв}} = 0,01 B (a_{\text{ун}} A^p + q_4^{\text{ун}} Q_{\text{н}}^p / 32680) (1 - \eta), \quad (1.36)$$

где $q_4^{\text{ун}}$ — потери теплоты с уносом от механической неполноты сгорания топлива, % (для мазутных котлов $q_4^{\text{ун}} = 0,02\%$). Если отсутствуют эксплуатационные данные о $q_4^{\text{ун}}$ при сжигании твердого топлива, то для

приближенного расчета в формулу подставляются нормативное значение q_4^p ; Q_n^p - низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг.

Достоверность полученного результата в условиях эксплуатации складывается из погрешностей определения отдельных параметров, а именно $\Delta B = \pm 1\%$; $\Delta \Gamma_{\text{ж}} = \pm 2\%$ абс.; $\Delta A^p = \pm 1\%$; $\Delta a_{\text{ж}} = \pm 0,02$ абс. Формула наиболее чувствительна к погрешности измерения КПД золоуловителя η , где, например, переход с $\eta = 0,99$ на $0,98$ означает удвоение выбросов и наоборот. Таким образом, в целом погрешность выброса пыли определяется погрешностью разности $\Delta(1-\eta)$ и тем выше, чем ближе КПД золоуловителя к единице.

Диоксиды серы. Определение расхода выбросов диоксидов серы (т/год, г/с) в пересчете на SO_2 выполняется по балансовой стехиометрической формуле

$$P_{\text{SO}_2} = 0,02 BS^p (1 - \eta'_{\text{SO}_2}) (1 - \eta''_{\text{SO}_2}), \quad (1.4)$$

где S^p — содержание серы в топливе, %; η'_{SO_2} — доля оксидов серы, связываемых летучей золой в котле; η''_{SO_2} — доля оксидов серы, улавливаемых в золоуловителе попутно с твердыми частицами (в долях).

Доля оксидов серы, связываемых летучей золой в котле, зависит от зольности топлива и содержания свободной щелочи в летучей золе. Ориентировочные значения η'_{SO_2} при факельном сжигании различных видов топлива: торф — 0,15; сланцы эстонские и ленинградские — 0,8; остальные сланцы — 0,5; экибастузский уголь — 0,02; березовские угли Канско-Ачинского бассейна: для топок с твердым шлакоудалением — 0,5; для топок с жидким шлакоудалением при низкотемпературном сжигании — 0,2; остальные угли Канско-Ачинского бассейна: для топок с твердым шлакоудалением — 0,2; для топок с жидким шлакоудалением при высокотемпературном сжигании — 0,5; прочие угли — 0,1; мазут — 0,02; газ — 0.

Здесь и далее под низкотемпературным сжиганием понимается сжигание всех углей с $Q_n^p < 23\,050$ кДж/кг в топках с твердым шлакоудалением при температуре факела ниже 1500°C . Под высокотемпературным сжиганием понимается сжигание всех углей в топках с жидким шлакоудалением, а также углей с $Q_n^p > 23\,050$ кДж/кг в топках с твердым шлакоудалением при температуре факела выше 1500°C .

Доля оксидов серы (η''_{SO_2}), улавливаемых в сухих золоуловителях (электрофилтрах, батарейных циклонах), принимается равной нулю. В мокрых золоуловителях типа МВ и МС она зависит в основном от расхода и общей щелочности орошающей воды и от приведенной сернистости топлива при принятых на тепловых электростанциях удельных расходах воды на орошение золоуловителей $0,1 - 0,15 \text{ л/м}^3$ (рис. 1.1).

При сжигании высокосернистого мазута и некоторых углей до 5% SO_2 доокисляется до SO_3 . Соответствующие методы пересчета пока не утверждены.

Оксид углерода. Расчет выбросов оксида углерода (т/год, г/с) производится по формуле

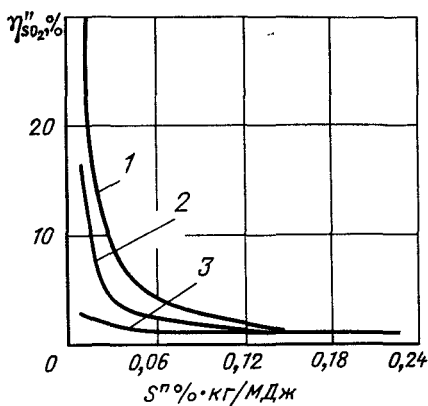
$$P_{\text{CO}} = 0,001 C_{\text{CO}} B (1 - q_4/100), \quad (1.5a)$$

где C_{CO} — выход оксида углерода при сжигании твердого, жидкого или газообразного топлива, кг/т, кг/тыс. м^3 , определяется по формуле

$$C_{\text{CO}} = q_3 R Q_n^p / 1013, \quad (1.56)$$

Рис. 1.1. Степень улавливания оксидов серы в мокрых золоуловителях в зависимости от приведенного серосодержания топлива и щелочности орошающей воды:

1 --- 10 мг-экв/л; 2 - 5 мг-экв/л; 3 --- 10 мг-экв/л



где q_3, q_4 — потери теплоты соответственно от химической и механической неполноты сгорания топлива, %; R — коэффициент, учитывающий долю потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, обусловленной содержанием оксида углерода в продуктах сгорания. Для твердого топлива $R=1$, для газа $R=0,5$, для мазута $R=0,65$; Q_n^p — теплота сгорания натурального топлива, кДж/кг, кДж/м³. Значения q_3 и q_4 принимаются по эксплуатационным данным или по [20]. При сжигании газа и мазута с предельно малыми избытками воздуха ($\alpha=1,01 \div 1,05$) следует принимать $q_3=0,15\%$ согласно «Руководящим указаниям по переводу котлов, работающих на сернистых топливах, в режим сжигания с предельно малыми избытками воздуха» (М., СПО Союзтехэнерго, 1980); при $\alpha > 1,05$ следует принимать $q_3=0$.

Оксиды азота. Расчет расхода выбросов оксидов азота производится по эмпирической формуле, связывающей генерацию оксида (NO) с конструктивными и режимными параметрами котла. В котле воздушный и топливный азот связывается в NO и только 1—5% успевает перед выходом газов в атмосферу доокислиться до NO₂. Тем не менее по сложившейся традиции расчет выбросов (г/с, т/год) ведут в пересчете на NO₂:

$$P_{\text{NO}_2} = 0,34 \cdot 10^{-7} K B Q_n^p \left(1 - \frac{q_4}{100} \right) \beta_1 (1 - \varepsilon_1 r) \beta_2 \beta_3 \varepsilon_2, \quad (1.6)$$

где K — коэффициент, характеризующий выход оксидов азота (кг/т условного топлива); β_1 — коэффициент, учитывающий влияние содержания азота в топливе на выход оксидов азота; β_2 — коэффициент, учитывающий конструкцию горелок (для вихревых горелок $\beta_2=1$, для прямоточных $\beta_2=0,85$); β_3 — коэффициент, учитывающий вид шлакоудаления (при жидком шлакоудалении $\beta_3=1,4$, во всех остальных случаях $\beta_3=1$); ε_1 — коэффициент, характеризующий эффективность воздействия рециркулирующих газов в зависимости от условий их подачи в топку; ε_2 — коэффициент, характеризующий снижение выброса оксидов азота при подаче части воздуха помимо основных горелок (при двухступенчатом сжигании), определяется по рис. 1.2 при условии сохранения общего избытка воздуха за котлом; r — степень рециркуляции дымовых газов, %.

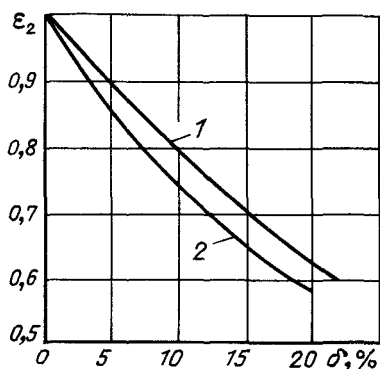


Рис. 1.2. График для определения значений коэффициента ε_2 :

1 — газ, мазут; 2 — уголь; δ — доля воздуха, подаваемого помимо основных горелок

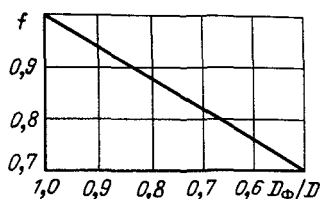


Рис. 1.3. Безразмерный коэффициент f в зависимости от паропроизводительности котла

Коэффициент K для котлов паропроизводительностью более 70 т/ч при сжигании газа и мазута во всем диапазоне нагрузок, а также при высокотемпературном сжигании твердого топлива с нагрузками выше 75% номинальной определяется по формуле

$$K = 12 D_{\phi} / (200 + D), \quad (1.7)$$

где D и D_{ϕ} — номинальная и фактическая паропроизводительность котла, т/ч.

Для котлов паропроизводительностью 30—70 т/ч

$$K = D_{\phi} / 20. \quad (1.8)$$

Для водогрейных котлов мощностью более 125 ГДж/ч (30 Гкал/ч) коэффициент K определяется по формуле

$$K = 2,5 Q_{\phi} / (84 + Q), \quad (1.9)$$

где Q , Q_{ϕ} — номинальная и фактическая тепловая мощность котла, ГДж/ч.

При высокотемпературном сжигании твердого топлива с нагрузками котла ниже 75% номинальной в формулы (1.7) — (1.9) вместо D_{ϕ} подставляется $0,75 D$. При низкотемпературном сжигании твердого топлива в формулы (1.7) — (1.9) вместо D_{ϕ} и Q_{ϕ} подставляются D и Q . Значения β_1 для энергетических котлов, в которых сжигается твердое топливо, определяются по формуле

$$\beta_1 = 0,178 + 0,47 N^p, \quad (1.10)$$

где N^p — содержание азота в топливе, %.

При сжигании жидкого и газообразного топлива с различными коэффициентами избытка воздуха в топочной камере α_t коэффициенты β_1 принимаются равными:

α_t	...	1,05	1,05	1,03	1,03
β_1 (газ)	...	0,9	0,8	0,8	0,7
β_1 (мазут)	...	1	0,9	0,9	0,75

При одновременном сжигании в топках энергетических котлов двух видов топлива с расходом одного из них более 90% значение коэффициента β_1 должно

приниматься по основному виду топлива. В остальных случаях коэффициент β_1 определяется как средневзвешенное значение. Так, для двух видов топлива

$$\beta_1 = (\beta'_1 B' + \beta''_1 B'') / (B' + B''), \quad (1.11)$$

где β'_1 , β''_1 , B' , B'' соответствуют значениям коэффициентов и расходам каждого вида топлива на котел.

Значения коэффициента ε_1 при номинальной нагрузке и $r < 30\%$ принимаются равными:

при сжигании газа и мазута и вводе газа рециркуляции в подтопки (при расположении горелок на вертикальных экранах) — 0,002; через шлицы под горелками — 0,015; по наружному каналу горелок — 0,02; в воздушное дутье — 0,025; в рассечку двух воздушных потоков — 0,03;

при высокотемпературном сжигании твердого топлива и вводе газов рециркуляции в первичную аэросмесь 0,01; во вторичный воздух 0,005.

При нагрузках, меньших номинальной, коэффициент ε_1 умножается на коэффициент f , определяемый по графику (рис. 1.3).

Официальных оценок, даваемых формулой погрешностей, нет. По мнению экспертов погрешность может достигать $\pm 10-30\%$.

Оксиды ванадия при сжигании жидкого топлива. Расчет выбросов оксидов ванадия в пересчете на пентаксид ванадия (г/год, г/с) выполняется по формуле

$$П_{V_2O_5} = 10^{-6} G_{V_2O_5} B (1 - \eta_{oc}) (1 - \eta_y), \quad (1.12)$$

где $G_{V_2O_5}$ — содержание оксидов ванадия в жидком топливе в пересчете на V_2O_5 , г/т; η_{oc} коэффициент оседания оксидов ванадия на поверхностях нагрева котлов.

Для котлов с промежуточными пароперегревателями, очистка поверхностей нагрева которых производится в остановленном состоянии, $\eta_{oc} = 0,07$; для котлов без промежуточных пароперегревателей при тех же условиях очистки $\eta_{oc} = 0,05$, для остальных случаев $\eta_{oc} = 0$; η_y — доля твердых частиц продуктов сгорания жидкого топлива, улавливаемых в устройствах для очистки газов мазутных котлов. Значение η_y оценивается для средних условий работы улавливающих устройств за год.

В случаях, когда содержание ванадия в мазуте не определялось, для мазутов с $S^p > 0,4\%$ используется эмпирическая формула

$$G_{V_2O_5} = 95,4 S^p - 31,6, \quad (1.13)$$

где S^p — содержание серы в мазуте, %. Относительная погрешность эмпирической формулы достигает по экспертной оценке 30%.

1.2.3. Расчет расходов токсичных выбросов котлами малой мощности

Необходимость в определении выбросов котлов малой мощности возникает перед электроэнергетиками при разработке перспективных планов (схем) централизованного теплоснабжения, когда закрытие мелких отопительных котельных и передача их функций ТЭЦ является средством оздоровления воздушного бассейна города. Методика ориентирована на сжигание всех видов топлива в топках промышленных и коммунальных котлоагрегатов

и бытовых теплогенераторов (малолитражные отопительные котлы, отопительно-варочные аппараты, печи и т. п.). Настоящая методика разработана сотрудниками Института горючих ископаемых (А. П. Финягин, И. Х. Володарский, А. П. Кондратенко), ЗапсибНИИ (Т. С. Селегей, А. С. Чернобров, А. И. Быков), Госкомгидромета (С. Т. Евдокимова, С. И. Титов), в Научно-исследовательском институте санитарной техники и оборудования зданий и сооружений Минстройматериалов СССР (А. И. Сигал). Ниже приводятся только те расчеты, которые существенно отличаются от энергетических котлов.

Твердые частицы. Расчет выбросов твердых частиц летучей золы и недогоревшего топлива (т/год, г/с), выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами котлоагрегата при сжигании твердого топлива и мазута, выполняется по формуле

$$P_{\text{тв}} = BA^p \chi (1 - \eta), \quad (1.14)$$

где B — расход топлива, т/год, г/с; A^p — зольность топлива, %; η — доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях.

Вспомогательная величина определяется при

$$\chi = a_{\text{ун}} / (100 - G_{\text{ун}}), \quad (1.14a)$$

где $a_{\text{ун}}$ — доля золы топлива в уносе, %; $G_{\text{ун}}$ — содержание горючего в уносе, %.

Значения A^p , $G_{\text{ун}}$, $a_{\text{ун}}$ принимаются по фактическим средним показателям; при отсутствии этих данных A^p определяется по характеристикам сжигаемого топлива, η — по техническим данным применяемых золоуловителей, χ — по табл. 1.5.

Таблица 1.5. Значения коэффициента χ и $K_{\text{со}}$

Тип топки	Топливо	χ	$K_{\text{со}}$, кг/ГДж
С неподвижной решеткой и ручным забросом топлива	Бурые и каменные угли	0,0023	1,9
	Антрациты:		
	АС и АМ	0,0030	0,9
С пневмомеханическими забрасывателями и неподвижной решеткой	АРШ	0,0078	0,8
	Бурые и каменные угли	0,0026	0,7
	Антрацит АРШ	0,0088	0,6
С цепной решеткой прямого хода	Антрацит АС и АМ	0,0020	0,4
С забрасывателями и цепной решеткой	Бурые и каменные угли	0,0035	0,7
Шахтная Шахтно-цепная Наклонно-переталкивающая Слоевые топки бытовых теплоагрегатов	Твердое топливо	0,0019	2
	Торф кусковой	0,0019	1
	Эстонские сланцы	0,0025 [*]	2,9
	Дрова	0,0050	14
	Бурые угли	0,0011	16
	Каменные угли	0,0011	7
	Антрацит, тощие угли	0,0011	3
Камерные топки: паровые и водогрейные котлы бытовые теплогенераторы	Мазут	0,0100	0,32
	Газ природный, попутный и коксовый	—	0,25
	Газ природный		0,08
	Легкое жидкое (печное топливо)	0,0100	0,16

Оксид углерода. Расчет расхода выбросов оксида углерода (т/год, г/с) выполняется по формуле

$$W_{CO} = 0,001 C_{CO} B (1 - q_4 / 100), \quad (1.15)$$

где B — расход топлива, т/год; тыс. м³/год; г/с; л/с; C_{CO} — выход оксида углерода при сжигании топлива, кг/т, рассчитывается по формуле

$$C_{CO} = q_3 R Q_n^p. \quad (1.16)$$

Здесь q_3 — потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, %; R — коэффициент, учитывающий долю потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, обусловленной наличием в продуктах сгорания оксида углерода. Для твердого топлива $R=1$, для газа $R=0,5$, для мазута $R=0,65$; Q_n^p — низшая теплота сгорания натурального топлива, МДж/м³; q_4 — потери теплоты вследствие механической неполноты сгорания топлива, %.

Таблица 1.6. Характеристика процессов горения в топках котлов малой мощности

Тип топки котла	Топливо	α	q_3	q_4
С цепной решеткой	Донецкий антрацит	1,5 1,6	0,5	13,5/10
Шахтно-цепная	Торф кусковой	1,3	1	2
С пневмомеханическими забрасывателями и цепной решеткой прямого хода	Угли типа донецких	1,3 1,4	0,5—1	6/3,5
	Бурые угли	1,3—1,4	0,5—1	5,5/4
С пневмомеханическими забрасывателями и цепной решеткой обратного хода	Каменные угли	1,3—1,4	0,5—1	5,5/3
	Бурые угли	1,3—1,4	0,5—1	6,5/4,5
С пневмомеханическими забрасывателями и неподвижной решеткой	Донецкий антрацит	1,6—1,7	0,5—1	13,5/10
	Бурые угли типа подмосковных	1,4 1,5	0,5 1	9/7,5
	Бурые угли типа бородинских	1,4 1,5	0,5 1	6/3
	Угли типа кузнецких	1,4—1,5	0,5 1	5,5/3
Шахтная с наклонной решеткой	Дрова, дробленые отходы, опилки, торф кусковой	1,4	2	2
Скоростного горения	Дрова, щепа, опилки	1,3	1	4/2
Слоевая котла паропроизводительностью более 2 т/ч	Эстонские сланцы	1,4	3	3
Камерная топка с твердым шлакоудалением	Каменные угли	1,2	0,5	5/3
	Бурые угли	1,2	0,5	3/1,5
	Фрезерный торф	1,2	0,5	3/1,5
	Мазут	1,1	0,5	0,5
	Газ (природный, попутный)	1,1	0,5	0,5
	Доменный газ	1,1	1,5	0,5

Примечание. Для α меньшие значения — для парогенераторов производительностью более 10 т/ч; для q_4 в числителе — при отсутствии средств уменьшения уноса, в знаменателе — при остром дутье и наличии возврата уноса, а также для котлов производительностью 25—35 т/ч.

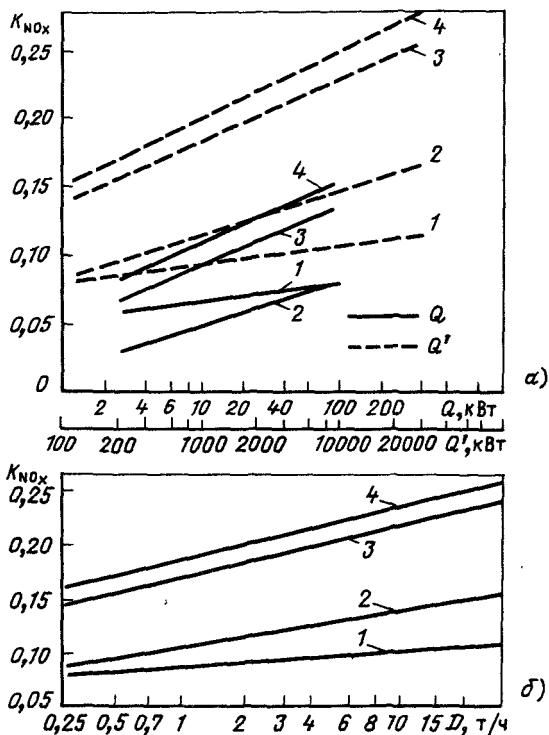


Рис. 1.4. Зависимость K_{NO_2} от тепловой мощности (а) и паропроизводительности (б) котла:

1 — природный газ, мазут; 2 — антрацит; 3 — бурый уголь; 4 — каменный уголь

При отсутствии эксплуатационных данных значения q_3 , q_4 принимаются по табл. 1.6. Ориентировочная оценка выброса оксида углерода, т/год, г/с, может проводиться по формуле

$$P_{CO} = 0,001 B Q_H^p K_{CO} (1 - q_4/100), \quad (1.17)$$

где K_{CO} — количество оксида углерода на единицу теплоты, выделяющейся при горении топлива, кг/ГДж; принимается по табл. 1.5.

Оксиды азота. Расчет расхода выбросов оксидов азота в пересчете на диоксид (NO_2) осуществляется по формуле

$$P_{NO_2} = 0,001 B Q_H^p K_{NO_2} (1 - \beta), \quad (1.18)$$

где B — расход натурального топлива за рассматриваемый период времени, т/год; тыс. м³/год; г/с; л/с; Q_H^p — теплота сгорания натурального топлива, МДж/кг, МДж/с³; K_{NO_2} — параметр, характеризующий количество оксидов азота, образующихся на ГДж теплоты (кг/ГДж); β — коэффициент, зависящий от степени снижения выбросов оксидов азота в результате применения технических решений.

Значение K_{NO_2} определяется по графикам (рис. 1.4) для различных видов топлива в зависимости от номинальной нагрузки котлов. При нагрузке котла, отличающейся от номинальной, K_{NO_2} следует умножить на $(Q_{\text{ф}}/Q_{\text{н}})^{0.25}$ или на $(D_{\text{ф}}/D_{\text{н}})^{0.25}$, где $D_{\text{н}}$, $D_{\text{ф}}$ — соответственно номинальная и фактическая паропроизводительность, т/ч; $Q_{\text{н}}$, $Q_{\text{ф}}$ — соответственно номинальная и фактическая мощность, кВт.

Таблица 1.7. Концентрации токсичных веществ в продуктах сгорания отопительных котлов малой мощности (до 85 кВт)

Тип котла	Топливо	Режим горения	$\text{C}_{26}\text{H}_{18}$, мгк/100 м ³	NO_2 , мг/м ³	NO , мг/м ³	CO , %
КС-2	Каменный уголь	Начало выгорания	8,97	5	205	—
КЧМ-3 (7 секций)	Антрацит	Основной период горения	33,55	25	180	—
		Розжиг дров	111,2	6—8	110	—
		Догорание дров	346,1	30—40	70—80	—
		Начало погрузки угля	13,6	10	120	0,11
		Конец погрузки	53,6	20	110	0,28
КС-2	Дрова	Основной период горения	17,2—13,4	30	100	0,08
		Разгорание дров	97,4	8—10	90—110	—
		Догорание дров	214,6	25—45	60—80	—
КЧМ-3 (7 секций)	Природный газ	Горение при α :				
		1,2	8—2	2,5	140	0,008
		1,4	—	35	150	—
		1,8	—	50	150	—
		2,2	—	60	160	—
КС-3	ТПБ (легкое жидкое топливо)	2,8	—	80	180	0,065
		1,25	60	25	250	0,075
		1,4	350	80	140	0,02

Если имеются данные о содержании оксидов азота в дымовых газах (%), то выброс (кг/год) вычисляется по формуле

$$P_{\text{NO}_2} = 20,4 c_{\text{NO}_2} V B \left(1 - \frac{q_4}{100} \right), \quad (1.19)$$

где c_{NO_2} — известное содержание оксидов азота в дымовых газах, % об. (табл. 1.7); V — объем продуктов сгорания топлива, м³/кг, при известном α .

1.3. РАСЧЕТ ВЫБРОСОВ УГЛЕВОДОРОДОВ ПРИ ХРАНЕНИИ И ПЕРЕМЕЩЕНИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ

1.3.1. Основная расчетная модель и термодинамические свойства нефтепродуктов

В основу излагаемого ниже расчета положены методические указания Министерства нефтяной и нефтеперерабатывающей промышленности, выполненные В. С. Моряковым, Г. М. Кавиевым, Л. В. Ссдачевой, А. С. Ярмухаметовым.

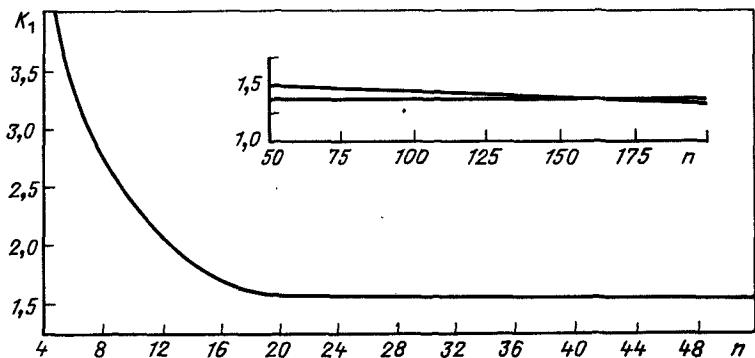


Рис. 1.5. Зависимость K_1 от среднеквартальной оборачиваемости резервуаров со светлыми нефтепродуктами

Автором в основном сохранены терминология указанного документа и непривычное для энергетиков отнесение выбросов к одному кварталу года. Поэтому годовые потери следует исчислять суммированием квартальных потерь.

Годовые потери углеводородов из цистерн и резервуаров определяются суммированием квартальных потерь, которые в общем случае рассчитываются по формуле

$$П = V \frac{p^{г.н}}{p_{ат}} \rho K_1 K_2 K_3 \cdot 10^{-3} m, \quad (1.20)$$

где V — объем нефтепродукта, поступающего в резервуар или в группу одноцелевых резервуаров за соответствующий квартал, m^3 ; $p^{г.н}$ — давление насыщенных паров углеводородов в газовом пространстве при среднеквартальной температуре газового пространства резервуара, мм рт. ст., Па; $p_{ат}$ — среднее барометрическое давление в газовом пространстве резервуаров (оно приблизительно равно атмосферному давлению), мм рт. ст., Па; ρ — средняя плотность паров нефтепродуктов при заданной температуре, kg/m^3 ; K_1 — опытный коэффициент, характеризующий удельные потери углеводородов с учетом среднеквартальной оборачиваемости резервуаров (рис. 1.5); K_2 — коэффициент, учитывающий наличие технических средств сокращения потерь от испарения и режим эксплуатации резервуара (табл. 1.8); K_3 — коэффициент, учитывающий влияние климатических условий на испарение; во II и III квартале K_3 для средней и южной климатических зон и Средней Азии соответственно равен 1,14; 1,47; 1,72; для остальных кварталов и зон $K_3 = 1$.

Среднеквартальная оборачиваемость цистерн по определению

$$n = V/V_p, \quad (1.21)$$

где V_p — объем цистерны или группы одноцелевых резервуаров, m^3 .

Среднеквартальная температура газового пространства резервуара, необходимая для определения давления насыщенных паров или концентрации углеводородов, для I и IV кварталов рассчитывается по формуле

$$t_{г.н}^{I-IV} = 0,5(t_n + t_v); \quad (1.22)$$

Таблица 1.8. Значения коэффициента K_2

Эксплуатация резервуара	Наземные металлические резервуары			Подземные железобетонные резервуары	
	без оснащения техническими средствами снижения потерь	оснащен понтоном или плавающей крышей	включен в газоравнительную систему	без оснащения техническими средствами снижения потерь	включен в газоравнительную систему
Резервуар эксплуатируется как «мерник»	1	0,2	0,2	0,8	0,1
То же, но с открытыми люками или снятыми дыхательными клапанами	1,1	0,25	1,1	0,9	0,9
Резервуар эксплуатируется как «буферная емкость»	0,1	0,05	0,05	0,15	—
То же, но с открытыми люками или со снятыми дыхательными клапанами	0,15	0,07	0,2	0,2	—

для II и III кварталов

$$t_{2-3}^{*n} = 0,7t_n + 0,3t_b; \quad (1.23)$$

для утепленных резервуаров $t^{*n} = t_n$, где t_n , t_b — среднеквартальные температуры нефтепродукта в резервуаре и атмосферного воздуха, °С.

Давление насыщенных паров нефтепродуктов (ДНП) принимается по данным измерений, выполняемых по ГОСТ 1756-52* (бомба Рейда) для аттестации товарных нефтепродуктов.

Пересчет получаемых по ГОСТ парциальных давлений к среднеквартальной или любой иной температуре газового пространства осуществляется по номограмме (рис. 1.6).

Пользование номограммой поясним на примере. Из эксперимента известно, что при 31° С давление насыщенных паров составляет 350 мм рт. ст. Требуется определить давление насыщенных паров при 7° С. Определяем исходную точку с координатами 31° С, 350 мм рт. ст. Проводим эквидистантную двум соседним линиям прямую (пунктир) и на пересечении с ординатой 7° С находим искомое давление насыщения 120 мм рт. ст.

Плотность паров углеводородов в общем виде определяется по формуле

$$\rho = \frac{M}{22,4} \frac{p}{p_0} \frac{273}{273 + t}, \quad (1.24)$$

где M — молекулярный вес паров нефтепродукта; $p_0 = 760$ мм рт. ст.

Молекулярный вес определяется для паров бензиновых фракций по формуле

$$M = 60 + 0,3(t_{н.к} - 30) + 0,001(t_{н.к} - 30)^2; \quad (1.25)$$

для паров нефти и нефтепродуктов по формуле

$$M = 45 + 0,6t_{н.к}, \quad (1.26)$$

где $t_{н.к}$ — температура начала кипения нефтепродукта, °С.

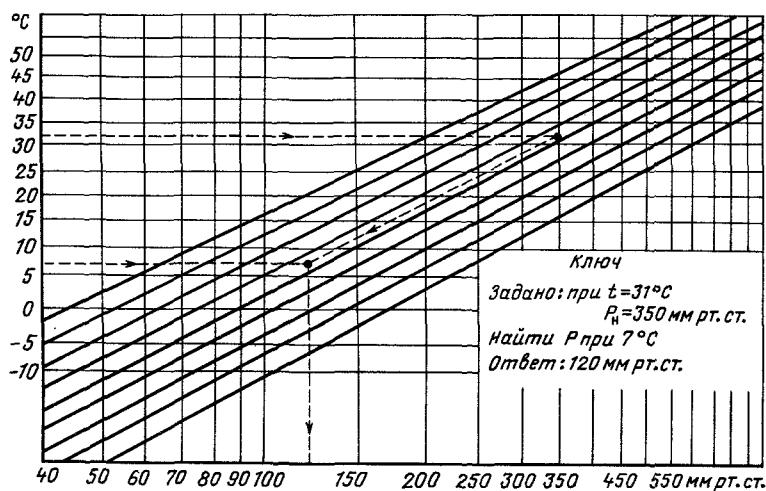


Рис. 1.6. Помограмма для пересчета упругости паров нефтепродуктов

Давление насыщенных паров различных углеводородов (мм рт. ст.) при заданной температуре приблизительно может быть оценено по формулам

$$\lg p = A - B/T; \quad (1.27)$$

$$\lg p = A - B/(C + t), \quad (1.28)$$

где T , t — температура жидкости, К, °С. Константы A , B и C приведены в табл. 1.9.

Таблица 1.9. Константы для расчета давления насыщенных паров низкокипящих органических соединений

Продукт	Формула	Температура, °С	A	B	C
Метанол	CH_4O	$-7 \div 50$	8,9547	2049,2	—
Метилэтилкетон	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$	$-10 \div 50$	7,764	1725	—
Пентан	C_5H_{12}	$-10 \div 50$	6,87372	1075,82	233,36
Гексан	C_6H_{14}	$-10 \div 68$	6,87776	1171,53	224,37
Бензол	C_6H_6	$-10 \div 5,5$	6,48898	902,28	178,1
		$5,5 \div 160$	6,91210	1214,64	221,2
Фенол	$\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$	$0 \div 40$	11,5638	3586,36	273
Толуол	C_7H_8	$-92 \div 15$	8,33	2047,3	—
		$20 \div 200$	6,95334	1343,94	219,38
Этилбензол	C_8H_{10}	$20 \div 45$	7,32525	1628	230,7
		$45 \div 190$	6,95719	1424,26	213,21
с-Ксилол	C_8H_{10}	$25 \div 50$	7,35638	1671,8	231
м-Ксилол	C_8H_{10}	$25 \div 45$	7,36810	1658,23	232,3
		$45 \div 195$	7,00908	1462,27	215,11
п-Ксилол	C_8H_{10}	$25 \div 45$	7,32611	1635,74	231,4
		$45 \div 190$	6,99052	1453,43	215,31

Примечание. Константы для метанола, метилэтилкетона и толуола рассчитываются по (1.27); для остальных продуктов — по (1.28).

В табл. 1.10 даны относительные составы паров углеводородов наиболее распространенных нефтепродуктов.

Таблица 1.10. Концентрация индивидуальных веществ и групп углеводородов (% масс.) в парах различных нефтепродуктов

Нефтепродукт	Углеводороды					
	Предельные	Непредельные	Ароматические	Бензол	Толуол	Ксилолы
Сырая нефть	99,22	—	0,78	0,455	0,2202	0,1048
Прямогонные бензиновые фракции:						
62 - 86	99,05		0,95	0,55	0,4	
62 - 105	93,9	---	6,1	5,89	0,21	
85 - 105	98,64		1,36	0,24	1,12	
85 - 120	97,61		2,39	0,05	2,34	
85 - 180	99,25	--	0,75	0,15	0,35	0,25
105 - 140	95,04	--	4,96		3,81	1,15
120 - 140	95,9	--	4,1		2,09	2,01
140 - 180	99,57		0,43		—	0,43
НК - 180	99,45		0,55	0,27	0,18	0,1
Стабильный катализат	90,8		9,2	9,93	4,49	1,78
Бензин-рафинат	98,88		1,12	0,44	0,42	0,26
Крекинг-бензин	74,03	25	0,97	0,58	0,27	0,12
Бензин-платформат	60,38	--	39,62	23,01	13,5	2,51
Уайт-спирит	93,74		6,26	2,35	3	0,91
A-72, A-76	96,83	-	3,17	1,86	1,14	0,17
АИ-93, АИ-98	95,85		4,15	2,16	1,76	0,23

1.3.2. Расчет выбросов углеводородов из мазутохранилищ

Потери углеводородов (τ) от испарения из резервуаров с данными нефтепродуктами определяются суммированием потерь из шести наиболее теплых и шести наиболее холодных месяцев года, которые рассчитываются по формуле

$$H = V c K_1 K_2 \cdot 10^{-6}, \quad (1.29)$$

где V — объем нефтепродукта, поступающего в резервуар или в группу одноцелевых резервуаров в течение рассматриваемого периода года, м^3 ; c — массовая концентрация насыщенных паров при заданной температуре газового пространства резервуаров, $\text{г}/\text{м}^3$ (рис. 1.7).

Средняя температура газового пространства резервуаров и значения коэффициентов K_2 определяются в соответствии с рекомендациями п.1.3.1. Значения коэффициента K_1 определяются по графику (рис. 1.8).

Парогазовая смесь, вытесняемая из резервуаров с высококипящими нефтепродуктами, практически на 100% состоит из предельных углеводородов.

Поскольку керосины, лигроины, дизельные топлива подвергаются сероочистке (гидроочистка, зашквачивание), выбросы сероводорода из резервуаров с данными нефтепродуктами практически отсутствуют. Отсутствуют выбросы

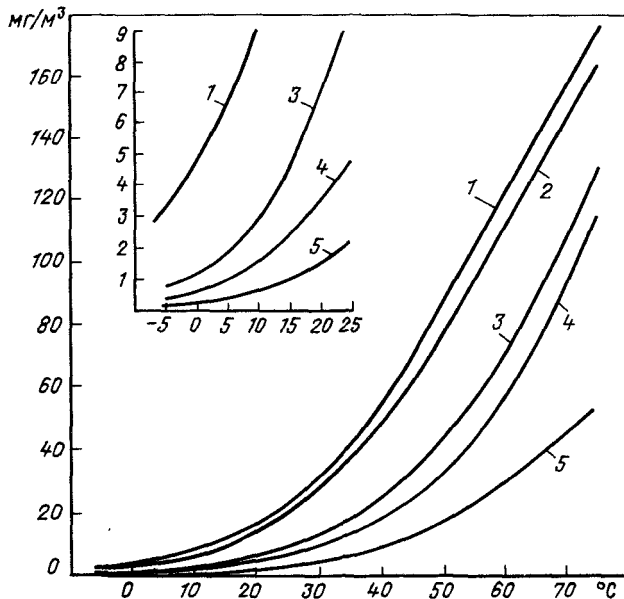


Рис. 1.7. Концентрации насыщенных паров нефтепродуктов в объеме резервуаров, мг/м^3 :

1 — керосин; 2 — лигроин; 3 — дизельное топливо; 4 — мазут; 5 — масла и присадки

сероводорода и из резервуаров с мазутами, маслами и присадками, так как сероводород в тяжелых фракциях не содержится.

Пример. Определить выбросы углеводородов от резервуаров с мазутом за теплый период года, т. е. за II и III кварталы. За теплый период в резервуарный парк поступило 100 тыс. м^3 мазута, суммарный объем резервуаров 3600 м^3 . Средняя температура мазута за теплый период $+52^\circ \text{C}$, средняя температура воздуха за теплый период $+18^\circ \text{C}$.

Температура газового пространства резервуаров определяется по формуле

$$t_{\text{г.п.}} = 0,7 \times 52 + 0,3 \times 18 = 41,8^\circ \text{C}. \quad (1.30)$$

Для мазутов по рис. 1.7 массовая концентрация насыщенных паров при заданной температуре составляет 60 г/м^3 .

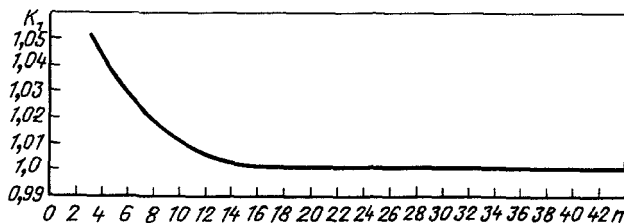


Рис. 1.8. Зависимость K_1 от среднеквартальной оборачиваемости резервуаров с темными нефтепродуктами

Оборачиваемость резервуаров за шесть наиболее теплых месяцев года (II и III кварталы):

$$n = 100\,000 / 3600 = 27,8.$$

Согласно графику рис. 1.8 этому значению соответствует коэффициент $K_1 = 1,002$. Поскольку резервуары эксплуатируются как «мерники» и не имеют технических средств сокращения потерь, то $K_2 = 1$. Итого выбросы углеводородов за два квартала составят

$$П = 100\,000 \times 60 \times 1,002 \times 1 \times 10^{-6} = 6,02 \text{ т.}$$

1.3.3. Определение максимальных выбросов углеводородов

Установление ПДВ предполагает непревышение ПДК вредных веществ в атмосферном воздухе при самых неблагоприятных метеусловиях и наибольших выбросах от источников предприятия.

Для целого ряда организованных источников выбросов нефтепродуктов, характеризующихся относительным постоянством параметров газовых потоков, интегральная долгопериодная оценка выбросов может служить и оценкой максимальных выбросов.

Для неорганизованных источников, таких как резервуары горючего, масел и других веществ, интенсивность выбросов во многом зависит от климатических условий. Максимальные выбросы следует подсчитывать по средней температуре наиболее жаркого месяца согласно СНиП 2.01.01-82.

Расчет ведется по формуле (1.29), в которой V — максимально возможная подача топлива ($\text{м}^3/\text{с}$) для заполнения единичного или группы резервуаров, соответственно и выбросы измеряются в г/с.

1.4. ВЫБРОСЫ АЭРОЗОЛЕЙ УГЛЯ, ЗОЛЫ И ИЗВЕСТИ С ПЛОЩАДКИ ТЭС

Выбросы угольной пыли. Нормативы настоящего раздела разработаны во ВНИИОСуголь (А. Н. Куприн, Л. А. Кустов, А. Г. Литвин, В. Д. Наумов, А. А. Новоселков, В. Г. Путилов, М. А. Токмаков) применительно к угольной промышленности. Ввиду отсутствия соответствующих нормативов в Минэнерго и аналогичности технологий эти материалы включены в настоящий справочник.

Пыль из недействующих отвалов (предлагается для золошлакоотвалов). Расчет выбросов (т/сут) из отвалов, не действующих более трех лет, производится по формуле

$$П_2 = 2 \cdot 10^{-5} S. \quad (1.31)$$

Пыль с поверхности штабелей угля. Расчет сдувания пыли, $\text{мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, может быть выполнен с учетом скорости ветра и содержания частиц пыли размером менее 10 $\mu\text{м}$ по формуле

$$П_3 = 10^{-2} (4 + 2,5 N_{10}) v_a^2 (v_a - 4), \quad (1.32)$$

где N_{10} — содержание в угле частиц пыли размером менее 10 $\mu\text{м}$, % масс.; v_a — скорость ветра, м/с; S — площадь поверхности отвала, м^2 .

При перемещениях угля грейдерными кранами и пересыпке с транспортеров, размещенных на открытом воздухе, могут быть использованы удельные выбросы угля, рекомендуемые исходными нормативами при погрузке (табл. 1.11).

Таблица 1.11. Удельный выброс пыли (q) при погрузке угля в вагоны или самосвалы, кг/т

Категория	Группа	q	Категория	Группа	q
Малопыльные	I	3	Пыльные	V	4,15
	II	3,02		VI	4,87
Умеренно пыльные	III	3,25	Весьма пыльные	VII	5,32
	IV	3,57		VIII	6,15

Примечание. В табл. 1.11—1.13 категория и группа угля по пылевому фактору приняты согласно «Каталогу шахтоцехов СССР по пылевому фактору». М., 1975; значения удельного выброса даны без учета проводимых мероприятий по пылеподавлению.

Таблица 1.12. Удельное выделение пыли при формировании открытых складов угля, г/т

Категория	Группа	Содержание пыли в угле, %	Скорость ветра, м/с									
			1	3	4	5	6	7	8	9	11	13
Малопыльные	I	0,79	790	2200	2555	3150	3650	4050	5200	6300	7900	7900
Умеренно пыльные	II	0,87	870	2300	2750	3300	3755	4300	5355	6500	8700	8700
	III	1,1	1100	2750	3300	3800	4400	5000	6100	7260	10000	11000
Пыльные	IV	1,43	1430	3300	3900	4500	5150	5750	6950	8000	11100	14300
	V	2,3	2300	4550	5150	5800	6750	7600	8750	11500	13400	16650
Весьма пыльные	VI	3,46	3460	6100	6800	7750	8600	9980	11250	12625	15750	19500
	VII	4,7	4700	7450	8300	9250	10550	11950	13200	14400	17900	21300
	VIII	7,48	7480	10480	11800	13050	13900	15800	17155	18500	21400	24650

Таблица 1.13. Удельное сдувание пыли с поверхности открытых складов угля, мг/(м² · с)

Категория	Группа	Содержание пыли в угле, %	Скорость ветра, м/с									
			4	5	6	7	8	9	11	13		
Малопыльные	I	0,79	0,25	1,91	7,62	13,35	28,19	49,94	124,47	249,73		
	II	0,87	0,27	2	7,84	14,17	28,04	51,53	124,78	157,17		
Умеренно пыльные	III	1,10	0,32	2,31	9,19	16,48	33,08	57,48	143,71	277,36		
	IV	1,43	0,38	2,73	10,75	18,96	37,68	63,42	159,52	304,99		
Пыльные	V	2,30	0,50	3,53	14,10	25,06	47,45	91,17	192,58	353,87		
	VI	3,46	0,66	4,71	17,96	32,90	61	100,09	226,35	411,45		
Весьма пыльные	VIII	7,48	1,16	7,94	29,03	52,10	93,03	146,67	307,55	523,91		

Выбросы пыли, образующиеся при формировании открытых складов угля (г/т), приводятся в табл. 1.12.

Сдувание пыли с поверхности открытых складов угля показано в табл. 1.13.

При работе технологического оборудования выделение пыли может быть оценено по табл. 1.14

Для оценки пыления золошлакохранилищ может быть рекомендована табл. 1.15.

Таблица 1.14. Удельное выделение пыли при работе технологического оборудования в угольных разрезах, мг/т

Источники выделения пыли	Без учета пылеподавления	С учетом пылеподавления
Конвейер магистральный (на 1 м)	40	8
Конвейерное перемещение	100	2
Погрузка экскаватором типа механической лопаты	730	200
Бульдозерная засыпка угольных уступов	2000	400
Перегрузатель ПГ 5250/40	2000	400

Таблица 1.15. Удельное сдувание пыли с поверхности хвостохранилищ углеобогажительных фабрик, мг/(м² · с)

Скорость ветра, м/с	Влажность поверхности, %						
	0—1	1—2	2—3	3—4	4—6	6—8	8—10
2,7	2,3	2	—	1,1	1,1	1	0,7
3,4	6,3	3,1	2,7	2	1,6	1,4	1,3
5,1	108,8	46,5	31	14,8	8,4	6,1	4,4
6,5	377,1	1281	179	79,6	37	13,3	7,7
7,7	24 645	—	1382	465,8	138,7	35,1	12,7
8,8	70 412	—	3567	—	247	59,2	20,9

Примечание. При скорости ветра менее 2,5 м/с сдувания с поверхности хвостохранилищ не происходит; значения удельного сдувания даны без учета применяемых мероприятий по уменьшению сдувания.

Известь и гипс. Намечасное широкое внедрение сероулавливающих установок на базе извести и известняка потребует создания складов и переработки этих материалов, включая получение гипса.

Расход поступающих в атмосферу выбросов, кг/ч, определяется по формуле

$$G = 10^{-3} V c, \quad (1.33)$$

где V — расход загрязненного газа, м³/ч; c — концентрация аэрозоля извести в потоке загрязненного газа, г/м³.

Ориентировочные расходы воздуха и концентрации пыли при обработке извести и производства гипса приведены в табл. 1.16 и 1.17.

Таблица 1.16. Усредненные выбросы пыли на заводах известкового производства

Источник выброса	Объем загрязнен- ного воз- духа, м ³ /кг продукта	Темпера- тура, °С	Конц. раш...
Дробилка щековая	0,7	16	
Дробилка молотковая	0,8	17	
Грохот	0,07	18	
Узлы перегрузки	0,23	27	
Вращающиеся печи мокрого способа производства	6	215	
Вращающиеся печи сухого способа производства	7,5	320	
Шахтные печи	7	175	
Мельницы помола извести	0,35	80	
Узлы перегрузки извести	0,5	30	
Упаковочные машины	0,5	28	

Таблица 1.17. Усредненные показатели выброса гипсовой пыли н. заводах

Источники выброса	Объем загрязнен- ного воз- духа, м ³ /ч	Температура, °С	
Щековые дробилки	850	18	
Молотковые дробилки	3000	18	
Шаровая мельница	2500	60	
Шахтная мельница	22 000	130	
Сушильный барабан	23 000	140	
Емкости для хранения:			
при загрузке пневмотранспортом	3700	—	
при загрузке механическим транс- портом	1650	—	
Погрузка в вагоны	2000	—	
Погрузка в автотранспорт	50	—	
Упаковочная машина	3000	40	

Раздел второй

РУЧНЫЕ И АВТОМАТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕР. КОНЦЕНТРАЦИИ ТОКСИЧНЫХ КОМПОНЕНТ

2.1. ПОДФАКЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ АТМОСФ. В РАЙОНЕ ТЭС

Измерения концентрации токсичных соединений под факелами проводятся с целью получения материалов по распространению вредных веществ в зависимости от метеорологических условий и оценки влияния их

на загрязнение атмосферы. Порядок и цели этих исследований регламентированы и утверждены Минздравом и Госкомгидрометом СССР «Руководством по контролю загрязнения атмосферы» [24]. При проведении подфакельных наблюдений используются специальные автомашины с аппаратурой для отбора проб и оперативного следования за траекторией факела.

Подфакельные наблюдения могут быть регулярные и специальные, т. е. наблюдения по расширенной программе. Отбор проб воздуха производится последовательно по направлению ветра на расстояниях от ТЭС: 0,2 0,5; 1; 2; 3; 4; 6; 8; 10; 15 и 20 км. Кроме того, организуется отбор проб воздуха с наветренной стороны от ТЭС на расстоянии, исключающем ее влияние на концентрацию. Наблюдения на расстояниях от 0,2 до 1 км характеризуют загрязнение атмосферы выбросами площадки ТЭС. При изменении направления факела отбор прекращается и автолаборатория перемещается в зону его влияния. Если установить машину на указанных дистанциях под факелом из-за препятствий (наличие водоемов, отсутствие подъездных дорог и др.) не представляется возможным, то выбираются близкие доступные дистанции. Отбор проб должен проводиться в местах, где можно ожидать наиболее высоких концентраций примесей, т. е. на расстояниях от источника, равных 10–40 средним высотам трубы. Кроме того, учитываются расстояния, соответствующие санитарно-защитной зоне, и границы жилой застройки.

Наблюдения под факелом проводятся за типичными для ТЭС ингредиентами SO_2 ; NO ; NO_2 и золой при сжигании твердых топлив. Контроль содержания CO , пентаоксида ванадия V_2O_5 и бензпиренов, как правило, нецелесообразен, так как их содержание в дымовых газах невелико и приземные концентрации на порядок ниже ПДК. Контроль за выбросами мазутного хозяйства может потребовать измерения углеводородов и H_2S .

В зоне возможного максимального загрязнения должно быть отобрано не менее чем 50–60 проб воздуха по каждому ингредиенту в разные сезоны года: зимой, летом, осенью и весной. При выполнении подфакельных наблюдений существенной частью работы является определение направления факела и выбор местоположения точки для отбора проб. Направление факела определяется визуально. В случае отсутствия дымового облака направление факела определяется или по направлению ветра на высоте выброса с учетом возможной высоты подъема факела, или по факелам от близлежащих примерно равновысоких источников. Отбор проб проводится на высоте 1,5 м от поверхности земли в течение 20–30 мин; интервал между отборами около 10 мин; отбор проб желательно проводить на выбранных расстояниях не менее чем в трех точках.

При проведении подфакельных наблюдений на территории города, где много промышленных предприятий, измерения подфакельных концентраций ТЭС следует производить при направлениях ветра, исключающих воздействие этих предприятий или хотя бы сводящих их влияние к минимуму.

Большое значение имеет определение расстояния от ТЭС до места отбора проб, которые проводятся одним из следующих способов:

при помощи крупномасштабной карты, на которой нанесены концентрические окружности вокруг ТЭС определенных радиусов. Путем сравнения этой карты с местностью устанавливают местоположение пунктов отбора проб воздуха и их удаление от ТЭС;

при помощи эклиметра или другого угломера (теодолита, бинокля с сеткой и т. д.). В месте отбора проб измеряется угол α треугольника, одна сторона которого, противолежащая углу α , — высота трубы H или расстояние между балконами на ней, другая — расстояние от источника до места отбора L . Расстояние L определяется по формуле $L = H / \operatorname{tg} \alpha$;

при наличии прямых дорог от ТЭС до пункта отбора проб расстояние определяется по спидометру автомашины.

2.2. ОТБОР ПРОБ ВОЗДУХА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ТОКСИЧНЫХ КОМПОНЕНТОВ

2.2.1. ПРОБЫ ГАЗОВ

Количественный анализ атмосферных примесей производится после их концентрирования, которое осуществляется пропусканием воздуха через соответствующие поглотительные среды или фильтрующие материалы. Для обеспечения тесного контакта между жидкой поглощающей средой и анализируемым воздухом применяются различные поглотительные сосуды, один из которых показан на рис. 2.1. Фильтрующие материалы закрепляются в соответствующих фильтродержателях.

Объем воздуха, отобранного для анализа, измеряется при помощи газовых счетчиков или пересчитывается по показаниям расходомеров (шайб, реометров, ротаметров). Во всех случаях вводится поправка на температуру и абсолютное давление.

Комплекс измерительных и поглотительных устройств принято называть аспиратором. В настоящее время выпускается несколько моделей таких аспираторов: ЭА 822, ПРУ-4, М-114 и др. Электроаспиратор М-114, схема которого приведена на рис. 2.2, наряду с отбором газовых проб обеспечивает одновременный отбор проб аэрозолей. В качестве побудителя расхода воздуха в нем используется бытовой пылесос. Возможность соединения в одном приборе канала с небольшим разрежением и высокой производительностью (необходимыми для отбора проб на аэрозольные фильтры) и канала с небольшим расходом и большим разрежением (необходимыми для отбора газовых проб) обеспечивается эжекторным преобразователем разрежения.

Для защиты измерительных устройств от уноса капелек поглотительного раствора перед ними устанавливают поглотительные патроны, заполненные промытым и высушенным силикагелем с диаметром зерна 0,5-- 3 мм. В ходе отбора проб необходимо внимательно следить за тем, чтобы скорость аспирации поддерживалась на заданном уровне с максимально возможной точностью. В случае изменения показаний ротаметров в процессе отбора производится дополнительная регулировка при помощи вентиля, соединенных с соответствующими ротаметрами.

При отборе проб воздуха в газовые пипетки один из ее концов присоединяют к распределительной гребенке, а другой — к штуцеру электроаспиратора; за время отбора пробы воздух в пипетке должен смениться не менее 10 раз. Пробы герметизируют зажимами резиновых трубок на

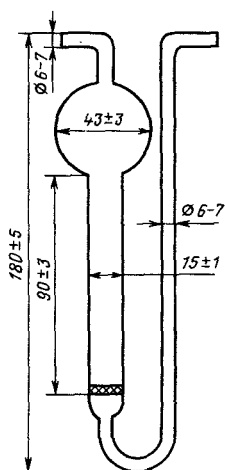
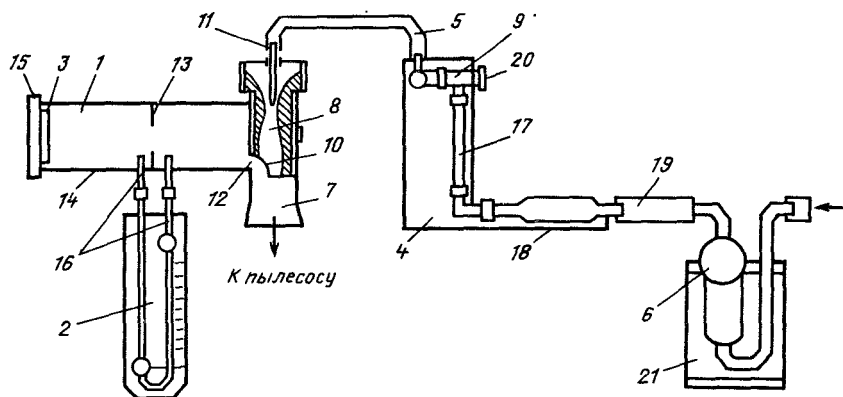


Рис. 2.1. Наиболее распространенная конструкция стеклянного поглотительного сосуда

Рис. 2.2. Электрический аспиратор М-114:

1 — универсальный воздухозаборник; 2 — реометр; 3 — раструб для крепления фильтродержателя; 4 — блок реометров; 5 — тройник; 6 — поглотительный прибор; 7 — раструб для крепления эжектора; 8 — эжектор; 9 — регулировочный вентиль; 10 — регулятор расхода пылевого канала; 11 — входной штуцер эжектора; 12 — отверстие пылевого канала; 13 — измерительная диафрагма; 14 — корпус фильтродержателя пылевого канала; 15 — фильтродержатель; 16 — штуцера для крепления реометра; 17 — ротаметр; 18 — штагив для крепления защитных патронов; 19 — защитный патрон; 20 — регулировочный винт; 21 — штагив для поглотителей



концах пипетки и затем закрывают их заглушками. Отбор проб в пипетки вне павильона производят путем медленного выливания воды или раствора поваренной соли (при отрицательных температурах наружного воздуха) из предварительно заполненной жидкостью пипетки. Отбор проб на оксид углерода по рекомендациям [24] можно проводить в резиновые камеры, заполняемые при помощи груши от пульверизатора. Перед присоединением к камере грушу несколько раз сжимают для вытеснения находящегося в ней воздуха. Камеру накачивают до диаметра 20 см, а затем закрывают заглушкой и зажимом. Для заполнения камер нельзя применять насосы, смазанные маслом. Надо иметь в виду, что газы диффундируют через органические пленки, в связи с чем состав пробы при хранении меняется.

В некоторых случаях для задерживания мешающих анализу аэрозолей или газообразных веществ перед поглотительным прибором устанавливают соответствующие ловушки, например фильтр АФА-ВП-10.

Отбор проб воздуха производится на фильтрующие материалы, закрепленные в фильтродержателях. Для отбора проб используются различные аспираторы (воздушные насосы). При наличии переменного тока 50 Гц, 220 В применяются любые бытовые пылесосы или их воздуходувки. В автолаборатории в качестве «насоса» может использоваться разрежение в системе забора воздуха двигателя. Надо иметь в виду, что использовать двигатель в качестве насоса не допускается при отборе проб газов, поскольку на результат будут воздействовать выхлопные газы автомобиля. Измерение расхода отбираемого воздуха производится по правилам, изложенным в п. 2.2.1.

Общий вид транспортабельной установки показан на рис. 2.3.

Применяются фильтродержатели двух типов: для фильтров из уплотненной опрессованной ткани ФПП-15 и для стандартных фильтров АФА-ВП-40 с рабочей площадью 37-40 см², при отсутствии таких фильтров используют фильтр АФА-ВП-20, но при этом расход воздуха должен быть снижен в 2 раза. На фильтродержатели с фильтром надевается разборная конусная насадка, состоящая из четырех конусов с диаметрами входных отверстий 55, 45, 35 и 25 мм, вставляемых последовательно один в другой. Выбор диаметра насадки осуществляется таким образом, чтобы скорости ветра и воздуха при входе в направленный навстречу ветру насадок совпадали. Делается это с целью исключения сепарации крупных частиц пыли и искажения репрезентативности пробы (табл. 2.1).

Таблица 2.1. Диаметры входного отверстия конусной насадки при разной скорости ветра и аспирации, мм

Скорость аспирации, л/мин	Скорость ветра, м/с					
	1-1,9	2-2,9	3-3,9	4-4,9	5-5,9	6
280 *	55	55	45	35	35	25
250 **	55	45	35	35	35	25
200	55	45	35	35	25	25
150	45	35	35	25	25	25

* Максимально допустимая скорость аспирации воздуха через фильтр АФА-ВП-40 при наличии охранной сетки.

** Максимально допустимая скорость аспирации воздуха через фильтр ФПП-15 в автомобильном аспираторе при наличии охранной сетки.

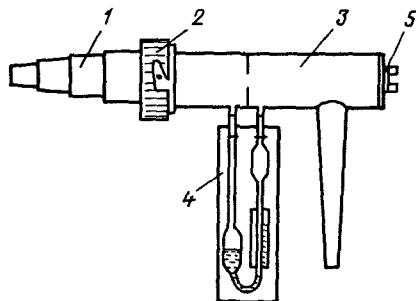


Рис. 2.3. Общий вид автомобильного аспиратора:

1 - насадки; 2 - фильтродержатель; 3 - Т-образная трубка; 4 - реометр; 5 - подвижная заслонка

При отборе проб на аэрозоли особое внимание следует уделять чистоте рабочего места и всех деталей, имеющих контакт с фильтром, брать фильтр только пинцетом с пластмассовыми наконечниками. Перед началом отбора протирают фильтродержатель и насадку чистой тряпочкой. На сетку фильтродержателя с помощью пинцета помещают предварительно взвешенный на аналитических весах фильтр, прижимают его кольцом и накидной гайкой. При отборе проб вне павильона автомобильный аспиратор устанавливают на штативе на высоте 1,5 м от земли так, чтобы фильтродержатель был направлен в сторону набегающего воздушного потока. При этом необходимо следить за тем, чтобы на фильтр не попадали выхлопные газы и чтобы он не экранировался корпусом автомашины. После завершения отбора пробы (прекращения просасывания воздуха через фильтр) отвинчивают накидную гайку и пинцетом снимают прижимное кольцо. С помощью пинцета осторожно извлекают фильтр из держателя, складывают вчетверо запыленной поверхностью внутрь и помещают в тот же пакет, из которого он был взят.

2.2.3. Наблюдения за факелом

Форма факела фиксируется зашифрованной цифрой в соответствии с характеристикой и внешним видом, указанными в табл. 2.2. Для характеристики режима сжигания топлива качественно с помощью специальной шкалы оценивается степень прозрачности (чернота) дыма (рис. 2.4). Шкала состоит из шести пронумерованных квадратов; номер 5 — сплошь черный, номер 1 — самый светлый, 0 — белое поле. Полагается, что номера от 1 до 5 соответствуют случаям, когда не пропускается соответственно 20, 40, 60, 80 и 100% света. Шкалу нужно поднять на вытянутой руке до уровня глаз наблюдателя. Наблюдатель смотрит на дым возле среза дымовой трубы и определяет номер квадрата, который больше всего соответствует степени черноты дыма, и записывает этот номер. Проводится по пять отсчетов через 15—30 с 2 раза за срок — в начале и конце наблюдений.

Прозрачность дыма ρ (%) при количестве отсчетов n рассчитывается по формуле:

$$\rho = 100 - 20(n_1 + 2n_2 + 3n_3 + 4n_4 + 5n_5)/n.$$

Пример. Число отсчетов $n = 10$, число случаев с разными номерами квадратов: $n_0 = 1$; $n_1 = 0$; $n_2 = 1$; $n_3 = 1$; $n_4 = 5$; $n_5 = 2$;

$$\rho = 100 - 20 \frac{2 + 3 + 20 + 10}{10} \approx 23\%.$$

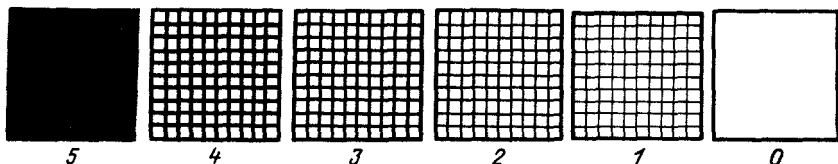
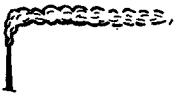


Рис. 2.4. Шкала оценки степени прозрачности дыма

Таблица 2.2. Характеристика формы факела

Шифр	Форма факела	Характеристика факела
1		Факел имеет волнообразную форму с неустойчивыми очертаниями. Клубы дыма то высоко поднимаются вверх, то опускаются до земли. Встречается днем при положительном градиенте температуры и умеренной скорости ветра
2		Факел поднимается вертикально вверх и равномерно растекается во все стороны. Характерен для летнего сезона в дневное время при слабой скорости ветра
3		Г-образная форма факела: дым при выходе из трубы приобретает горизонтальное направление или вначале поднимается вертикально, а затем смещается по ветру. Характерен для нулевого или отрицательного градиента температуры при штиле

Применительно к энергетическим котлам цвет дыма имеет свою специфику. В теплосе время года при сжигании природного газа и малосернистого мазута с хорошо налаженным топочным режимом факел не просматривается. При сжигании высокосернистого мазута происходит конденсация раствора серной кислоты и факел окрашивается в светло-серый цвет. В холодное время года при сжигании топлив с высоким содержанием паров воды в отходящих газах (природный газ, мазут, высоковлажные бурые угли и торф) доминирует белый цвет аэрозоля конденсата этих паров.

Цвет факела при сжигании твердых топлив зависит от полноты сгорания (содержания углерода в уносе) и уровня золоулавливания.

2.3. МЕТОДЫ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СОСТАВА ВОЗДУХА

2.3.1. Определение диоксида серы с помощью хлористого бария

Метод основан на окислении диоксида серы в процессе его улавливания из воздуха раствором хлората калия или диоксида водорода с последующим турбидиметрическим определением образующегося сульфат-иона с хлоридом бария. Определению мешают сульфаты, серная кислота и сероводород. Влияние сульфатов и серной кислоты устраняется улавливанием их на фильтр АФА-В-10. Метод рекомендуется для определения разовых концентраций. Диапазон измеряемых концентраций $0,08 - 1,5 \text{ мг/м}^3$ при отборе пробы объемом 80 л. Чувствительность определения 5 мкг в анализируемом объеме пробы. Так, при отборе 80 л газа с концентрацией $0,5 \text{ мг/м}^3$ в пробе накапливается $0,5 \cdot 80 = 40 \text{ мг}$ диоксида серы. Таким образом, в пересчете на концентрацию чувствительность (погрешность) составит $(5:40) 100 = 12,5\%$. При исходной концентрации на уровне ПДК_{с.с} ($0,05 \text{ мг/м}^3$) погрешность возрастет до 125%.

Для выполнения анализа необходимы: глицерин химически чистый (х.ч.) или этилен-гликоль, х.ч.; соляная кислота, конц. (пл. 1,19), х.ч.; спирт этиловый, ректификат; калий хлорноватокислый (KClO_3), ч. или диоксид водорода H_2O_2 , х.ч.; калий сернокислый, безводный, х.ч.

Поглотительный раствор. 40 г перекристаллизованного хлорноватокислого калия (KClO_3) растворяют в 1 л воды. При отсутствии KClO_3 в качестве поглотительного раствора может быть использован 0,3%-ный раствор перекиси водорода. Для этого 10 мл 430%-ной H_2O_2 растворяют в 1 л воды, 0,3%-ный раствор H_2O_2 хранят в темной склянке не более недели. При использовании H_2O_2 других квалификаций необходима предварительная проверка реактива на содержание сульфат-иона, при наличии которого H_2O_2 очищают.

Барий хлористый, составной реактив. 11,7 г кристаллического хлористого бария ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) растворяют в 100 мл воды. Затем приливают 300 мл этилового спирта и 300 мл глицерина или этиленгликоля, pH смеси доводят 2,5—2,8 концентрированной соляной кислотой. Раствор оставляют на 48 ч и в случае появления осадка фильтруют через фильтр «синяя лента». Срок хранения раствора 2 мес.

Исходный стандартный раствор. Безводный сернокислый калий мелко растирают и сушат при температуре 120—150 °C в течение 2 ч. Навеску 0,2720 г растворяют в 100 мл воды. Этот раствор соответствует содержанию SO_2 1000 мкг/мл.

Рабочий стандартный раствор. Готовят 10-кратным разбавлением исходного стандартного раствора поглотительным раствором. Полученный раствор соответствует содержанию SO_2 100 мкг/мл.

Отбор проб. Для определения разовой концентрации двуокиси серы исследуемый воздух со скоростью 2—4 л/мин протягивают в течение 20 мин через поглотительный сосуд, содержащий 6 мл поглотительного раствора.

Ход анализа. Уровень раствора в поглотительном приборе доводят до 6 мл дистиллированной водой. 5 мл раствора переносят в пробирку и добавляют по 1 мл раствора BaCl_2 . Содержимое пробирок тщательно встряхивают и через 15 мин, предварительно встряхнув, определяют оптическую плотность растворов в кюветах шириной 10 мм при длине волны 400 нм (светофильтр № 3 для ФЭК-56) относительно воды. Время от добавления последнего реактива до измерения оптической плотности для всех проб должно быть одинаковым. Одновременно проводят оптические измерения «нулевой» пробы, которая должна быть не более 0,01. Количество диоксида серы в пробах находят с помощью калибровочного графика по разности результатов измерений оптической плотности раствора пробы и нулевого раствора.

Калибровочный график. Для построения калибровочного графика готовят серию стандартных растворов в мерных колбах емкостью 100 мл согласно табл. 2.3. Калибровочный график строят по средним значениям, вычисленным из результатов измерений 3—5 шкал. Расчет результатов анализа проводят согласно п. 2.3.8.

Таблица 2.3. Калибровочные растворы при определении диоксида серы

Раствор	Номер стандартного раствора							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Рабочий стандартный раствор (100 мкг/мл), мл	1	2	4	6	8	12	16	20
Поглотительный раствор, мл	До 100 мл в каждую колбу							
Соответствует содержанию диоксида серы в 5 мл стандартного раствора	5	10	20	30	40	60	80	100

2.3.2. Определение диоксида серы тетрахлормеркурным методом

Метод основан на взаимодействии дихлорсульфитомеркурата, образующегося в процессе поглощения диоксида серы раствором тетрахлормеркурата натрия, с формальдегидом и парарозанилином или фуксином. Образующееся при этом соединение окрашивает раствор в красно-фиолетовый цвет, интенсивности которого определяют содержание диоксида серы. Определение мешают оксиды азота, озон и соли некоторых тяжелых металлов. Влияние оксидов азота устраняется добавлением сульфаминовой кислоты, озона — выдерживанием пробы перед фотометрированием, солей тяжелых металлов — добавлением трилона Б и фосфорной кислоты. Метод рекомендуется для обследования районов с малым содержанием диоксида серы в атмосфере и для проведения научно-исследовательских работ.

Диапазон измеряемых концентраций составляет 0,003–0,24 мг/м³ при отборе пробы объемом 40 л. Чувствительность определения 0,1 мкг в анализируемом объеме пробы. Таким образом, погрешность данного метода в 25 раз меньше, чем предыдущего.

Отбор проб с использованием пропитанного твердого носителя исключает опасность отравления поглотительным раствором, позволяет работать при отрицательных температурах и уменьшает погрешность анализа.

Аппаратура. Сорбционные трубки с двумя перфорированными перегородками, между которыми помещается 1 мл стеклянного порошка (фракция 1–2 мм) (рис. 2.5).

Реактивы и растворы. Гидрат оксида натрия, х. ч.; иод, фиксана; или иод кристаллический, ч. д. а. и калий иодистый, х. ч.; крахмал д.

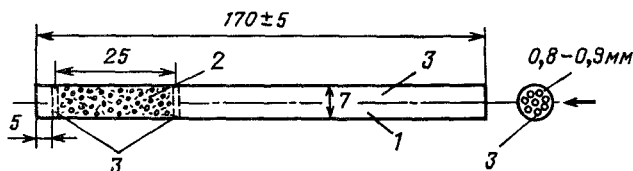


Рис. 2.5. Сорбционная трубка для отбора проб воздуха:
1 — корпус; 2 — стеклянный порошок (фракция 1–2 мм); 3 — дырчатые перегородки

йодометрии; натрий сернистокислый безводный, ч. д. а.; натрий сернистокислый пиро, ч. д. а.; натрий уксуснокислый, ч.; оксид ртути (желтая или красная), ч. д. а.; парарозанилин гидрохлорид, ч.; соляная кислота, конц. (пл. 1,18), х. ч.; сульфаминовая кислота, х. ч.; тиосульфат натрия, фиксанал или натрий серноватистокислый, ч. д. а.; калий иодистый, х. ч.; калий иодноватокислый, х. ч.; высушенный при 180° С натрий углекислый, х. ч.; трилон Б (двунатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты), х. ч.; формальдегид; фосфорная кислота орто (пл. 1,7), х. ч.; фуксин основной (для фуксинсернистой кислоты), ч. д. а. (если нет — парарозанилин гидрохлорида); хлористый натрий, х. ч.; этиленгликоль, ч. д. а.

Поглотительный раствор. 0,04 М раствор тетрахлормеркурата (ТХМ) натрия Na_2NgAl_4 . 8,7 г оксида ртути, 4,68 г хлорида натрия и 0,07 г трилона Б растворяют при легком нагревании в 9 мл 10 н. соляной кислоты. Переносят раствор в мерную колбу на 1 л, добавляют примерно 800 мл воды, медленно, при помешивании, добавляют 124 мл 0,1 н. раствора гидрата оксида натрия и доводят до метки водой. Раствор оставляют на сутки и в случае выпадения осадка фильтруют. Проверяют pH раствора, который должен быть в пределах 5,4—6,4. В случае необходимости pH доводят до нужного значения 0,1 н. раствором гидрата оксида натрия или соляной кислоты. Срок хранения раствора не более 6 мес (осторожно, раствор ядовит!).

Сульфаминовая кислота, 0,6%-ный раствор. Растворяют 0,6 г сульфаминовой кислоты в 100 мл воды; раствор сохраняется не более двух дней.

Формальдегид, 0,2%-ный раствор. 0,5 мл 40%-ного раствора формальдегида разбавляют до 100 мл дистиллированной водой в мерной колбе. Раствор готовят перед использованием. В исходном растворе определяют содержание формальдегида йодометрически.

Фосфорная кислота, 3 М раствор. 205 мл концентрированной фосфорной кислоты растворяют в 1 л воды.

Соляная кислота, 1 н. раствор. 86 мл концентрированной соляной кислоты доводят водой до 1 л.

Исходный раствор парарозанилина (или фуксина), 0,2%-ный раствор. Растворяют 0,2 г парарозанилина (или фуксина) в мерной колбе емкостью 100 мл в 1 н. растворе HCl.

Рабочий раствор парарозанилина (или фуксина). В мерную колбу емкостью 250 мл приливают 200 мл 3 М раствора фосфорной кислоты, 20 мл исходного раствора парарозанилина (или фуксина) и доводят объем до метки водой. В темноте при комнатной температуре в хорошо закрытой посуде раствор устойчив 6 мес.

Крахмал, 0,2%-ный раствор. Растирают 0,4 г растворимого крахмала и 0,002 г иодной ртути HgI_2 (для предохранения раствора от разрушения микроорганизмами) с небольшим количеством воды и полученную пасту медленно добавляют к 200 мл горячей воды; продолжают нагревание до получения прозрачного раствора, затем охлаждают. Раствор хранят закрытым в стеклянном сосуде.

Иод, 0,1 н. раствор. Готовят из фиксанала или навески, для чего в мерной колбе емкостью 1 л растворяют 40 г йодистого калия в 25 мл воды, затем вносят 12,7 г кристаллического (свежевозогнанного йода). После растворения йода объем раствора доводят до 1 л водой.

Йод, 0,01 н. раствор. Готовят 10-кратным разбавлением 0,1 н. раствора иода.

Тиосульфат натрия ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), 0,1 н. раствор. Готовят из фиксанала или навески, для чего в мерной колбе емкостью 1 л растворяют 25 г тиосульфата натрия в свежeproкипяченной воде, защищенной от воздействия CO_2 , к раствору добавляют 0,1 г карбоната натрия и доводят объем до метки. На следующий день определяют титр раствора по йодату калия KIO_3 . Для этого 1,5 г высушенного KIO_3 растворяют в мерной колбе емкостью 500 мл; 50 мл этого раствора переносят в коническую колбу с притертой пробкой, прибавляют 2 г йодистого калия KI и 10 мл разведенной (1:10) соляной кислоты. Колбу закрывают пробкой и через 5 мин титруют раствором тиосульфата до появления слабо-желтой окраски. Затем прибавляют 5 мл раствора крахмала и титруют до исчезновения голубой окраски. Нормальность тиосульфата рассчитывают по формуле

$$N = 2,8a/V,$$

где a — навеска йодата калия, мг; V — объем раствора тиосульфата, израсходованной на титрование, мл; 2,8 — коэффициент, рассчитанный по формуле

$$\frac{0,1 (\text{нормальность иода})}{35,67 (\text{грамм-эквивалент } \text{KIO}_3)} \cdot 1000 = 2,8.$$

Тиосульфат натрия, 0,01 н. раствор. Готовят 10-кратным разбавлением 0,1 н. раствора тиосульфата натрия предварительно прокипяченной водой, защищенной от CO_2 .

Исходный стандартный раствор. Растворяют 0,4 г сульфита натрия (Na_2SO_3) или 0,3 г пиросульфита натрия ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) в 500 мл предварительно прокипяченной дистиллированной воды. Этот раствор соответствует содержанию от 320 до 400 мкг SO_2 в 1 мл. Точное содержание SO_2 определяют йодометрически. Для этого в колбы емкостью 500 мл вносят по 50 мл точно отмеренного раствора йода. В одну из колб (контрольную) прибавляют 25 мл воды, а в другую — 25 мл исходного раствора сульфита натрия. Колбы закрывают пробками и через 5 мин титруют 0,01 н. раствором тиосульфата. Содержание диоксида серы (мкг/мл) в исходном растворе рассчитывают по формуле

$$(V_1 - V_2)n_2/V,$$

где V_1 , V_2 — объемы растворов тиосульфата, израсходованные при контрольном титровании и при титровании стандартного раствора соответственно, мл; n — нормальность раствора тиосульфата, г-экв/л; ε — микроэквивалент SO_2 , равный 32 мкг; V — объем раствора сульфита, взятый для титрования, мл.

Рабочий стандартный раствор сульфита с содержанием диоксида серы 10 мкг в 1 мл. Готовят соответствующим разбавлением исходного стандартного раствора поглотительным раствором. Раствор устойчив в течение 30 дней при хранении его в холодильнике.

Раствор для пропитки сорбента. В колбе на 100 мл растворяют 1,6 г уксуснокислого натрия в поглотительном растворе (0,04 М раствор ТХМ натрия), добавляют 15 мл этиленгликоля и доводят объем до метки поглотительным раствором. Раствор устойчив в течение 6 мес (раствор ядовит).

Подготовка сорбционных трубок к работе. Новые трубки предварительно моют следующим образом: помещают трубки в высокий стеклянный стакан, заливают раствором соляной кислоты (1:1) так, чтобы трубки полностью были погружены в раствор, и кипятят в течение 10–15 мин. Далее трубки промывают и кипятят в дистиллированной воде. Эту операцию повторяют 2–3 раза, каждый раз меняя дистиллированную воду. Затем при помощи резиновой груши трубки промывают дистиллированной водой еще 2–3 раза и сушат при температуре 100–120° С. Использованные для анализа трубки промывают, как указано выше, но без добавления концентрированной HCl.

Пропитка трубок. В чистую сухую трубку засасывают при помощи резиновой груши раствор для пропитки так, чтобы он смочил слой стеклянных гранул, затем тщательно выдувают излишек этого раствора. Обработанные раствором трубки оставляют на 24 ч в вертикальном положении для стекания излишка пропитывающего раствора и тщательно вытирают снаружи фильтровальной бумагой. После этого трубки помещают по отдельности в стеклянные пронумерованные пробирки или полиэтиленовые мешочки и транспортируют к месту отбора проб. Срок хранения пропитанных трубок один месяц.

Отбор проб. Для определения разовой концентрации SO_2 исследуемый воздух протягивают через поглотительный прибор Рихтера, содержащий 6 мл указанного выше поглотительного раствора, или через сорбционную трубку, обработанную щелочным раствором ТХМ натрия, со скоростью 2 л/мин в течение 20 мин. При отборе проб сорбционная трубка должна находиться в вертикальном положении заполненным концом вниз. Перед трубкой помещают патрон с фильтром АФА-В-10 для задержания пыли. Поглотительные приборы необходимо защищать от света экраном из черной бумаги.

Срок хранения отобранных проб в холодильнике не более 5 дней, без холодильника – 1–2 дня.

Ход анализа. При отборе проб в жидкостные поглотительные приборы доводят уровень раствора в поглотительном приборе водой до метки 6 мл. Переводят жидкость из поглотительного прибора в пробирку и отбирают 5 мл раствора для анализа. К 5 мл каждой пробы добавляют по 0,2 мл сульфаминовой кислоты, встряхивают и оставляют на 10 мин для разрушения нитритов и оксидов азота. Затем приливают точно по 0,4 мл формальдегида и по 1 мл раствора парарозанилина или фуксина. Одновременно проводят измерения нулевой пробы, для чего 5 мл поглотительного раствора анализируют аналогично пробе. Содержимое пробирок тщательно встряхивают и через 30 мин определяют оптическую плотность растворов в кюветах шириной 10 мм при длине волны 575 нм (светофильтр № 7 для ФЭК-56) относительно воды. Время от добавления последнего реактива до измерения оптической плотности для всех проб должно быть одинаковым.

При отборе проб в сорбционные трубки их помещают в стеклянные пробирки и заливают 6 мл дистиллированной воды. Путем нескольких прокачиваний при помощи резиновой груши переводят пробу в раствор. Трубку удаляют, а из пробирки отбирают 5 мл раствора для анализа.

Оптическую плотность нулевого раствора определяют следующим образом. Обработанную, как указано выше, трубку помещают в пробирку, заливают

6 мл дистиллированной воды и несколько раз прокачивают воду при помощи резиновой груши. Затем трубку вынимают и отбирают из пробирки 5 мл раствора для анализа. Анализируют, как указано выше. Оптическая плотность нулевого раствора должна быть не более 0,03.

Количество диоксида серы в пробе определяют с помощью калибровочного графика по разности результатов измерений оптической плотности растворов пробы и нулевого.

Калибровочный график. Для построения калибровочного графика готовят серию стандартных растворов в мерных колбах емкостью 100 мл согласно табл. 2.4 и тщательно перемешивают. Для приготовления шкалы стандартов по 5 мл каждого стандарта переносят в пробирки и проводят все операции согласно ходу анализа. Одновременно измеряют оптическую плотность нулевой пробы. Для большей точности измерений при построении калибровочного графика пробирки желательно термостатировать при температуре 20–25° С. Температура при калибровке и анализе не должна отличаться более чем на 2° С. Калибровочный график строят по средним значениям, вычисленным из результатов измерений трех-пяти шкал. Проверку графика следует проводить при смене партии реактива, но не реже 1 раза в месяц.

Таблица 2.4. Калибровочные растворы при определении диоксида серы

Раствор	Номер стандартного раствора						
	1	2	3	4	5	6	7
Рабочий стандартный раствор (10 мкг/мл), мл	0,2	1	2	4	8	12	16
Поглотительный раствор, мл	До 100 мл в каждую колбу						
Содержание диоксида серы в 5 мл стандартного раствора, мкг	0,1	0,5	1	2	4	6	8

Для построения калибровочного графика при отборе проб в сорбционные трубки готовят серию стандартных растворов в мерных колбах емкостью 100 мл. В каждую колбу вносят по 1,7 мл раствора для пропитки сорбента, рабочий стандартный раствор доливают до метки дистиллированной водой и тщательно перемешивают. Остальные операции проводят так, как указано выше. Расчет результатов анализа проводят согласно п. 2.3.8.

2.3.3. Определение аэрозоля серной кислоты и растворимых сульфатов

Метод основан на образовании нерастворимого сульфата бария при взаимодействии сульфат-ионов с хлоридом бария. Количество сульфат-ионов определяют по интенсивности помутнения раствора. Определению мешают нерастворимые аэрозоли; их влияние устраняют фильтрованием.

Метод рекомендуется для определения разовых концентраций.

Диапазон измеряемых концентраций аэрозолей сульфатов и серной кислоты составляет 5–100 мкг/м³ при отборе пробы воздуха объемом 2 м³. Чувствительность определения – 4 мкг в анализируемом объеме пробы.

Реактивы и растворы. Барий хлористый ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), х. ч.; глицерин, х. ч.; этиленгликоль, ч. д. а.; калий серноокислый, х. ч.; соляная кислота, конц. (пл. 1,185), х. ч.; спирт этиловый, ректификат.

Барий хлористый, составной реактив. 11,7 г кристаллического хлористого бария растворяют в 100 мл воды. Затем приливают 300 мл этилового спирта и 300 мл глицерина или этиленгликоля. Величину pH смеси доводят до 2,5–2,8 концентрированной соляной кислотой. Раствор оставляют на 48 ч и в случае появления осадка фильтруют через фильтр «синяя лента». Срок хранения раствора 2 мес.

Исходный стандартный раствор. Серноокислый калий (х. ч.) сушат при температуре 120–150° С в течение 2 ч. Навеску 0,1814 г растворяют в 100 мл воды, 1 мл этого раствора содержит 1000 мкг SO_4^{2-} .

Рабочий стандартный раствор с содержанием SO_4^{2-} 100 мкг/мл. Готовят 10-кратным разбавлением исходного стандартного раствора.

Отбор проб. Для определения разовой концентрации аэрозоля серной кислоты и растворимых сульфатов исследуемый воздух протягивают через фильтр ЛФА-ХП-18 со скоростью до 50 л/мин или через фильтр площадью до 36 см² со скоростью до 100 л/мин в течение 20 мин.

Ход анализа. После отбора проб (и взвешивания пыли) фильтр переносят пинцетом в стаканчик на 25 мл, смачивают 0,2 мл этилового спирта и приливают 10 мл горячей воды. Содержимое стаканчика перемешивают стеклянной палочкой в течение 10 мин. Нерастворившуюся часть аэрозоля отфильтровывают через стеклянный фильтр с пористой пластинкой № 3. Для ускорения фильтрации можно увеличить перепад давлений на фильтре, создавая давление до или разрежение после него.

Для определения сульфат-ионов из каждой пробы отбирают по 4 мл фильтрата и добавляют по 1 мл раствора BaCl_2 с интервалом 1–2 мин. Одновременно с пробами готовят нулевой раствор, для чего чистый фильтр обрабатывают аналогично пробе, а затем анализируют 4 мл фильтрата, как описано выше. Через 15 мин, предварительно встряхнув, определяют оптическую плотность каждого раствора в кювете шириной 10 мм при длине волны 400 нм относительно воды. Время от добавления раствора BaCl_2 до измерения оптической плотности растворов для всех проб должно быть одинаковым. Значение оптической плотности нулевого раствора должно быть не более 0,01. Количество аэрозоля серной кислоты и растворимых сульфатов в пробе определяют с помощью калибровочного графика по разности результатов измерений оптической плотности растворов пробы и нулевого.

Для построения калибровочного графика готовят серию стандартных растворов в мерных колбах емкостью 100 мл согласно табл. 2.5. Для приготовления шкалы стандартов в девять стаканчиков вносят по одному фильтру с обрезанными краями, предназначенному для отбора проб, прибавляют по 4 мл каждого стандартного раствора и проводят все операции согласно ходу анализа. Одновременно измеряют оптическую плотность нулевого пробы.

Калибровочный график строят по средним значениям, вычисленным из результатов измерений 3–5 шкал. Расчет результатов анализа проводят согласно п. 2.3.8.

Таблица 2.5. Калибровочные растворы при определении аэрозолей серной кислоты и сульфатов

Раствор	Номер стандартного раствора							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Рабочий стандартный раствор (100 мкг/мл), мл	1	2	4	6	8			
Исходный стандартный раствор (1 мг/мл), мл						1,2	1,6	2
Дистиллированная вода, мл	До 100 мл в каждую колбу							
Содержание SO_4^{2-} в 4 мл стандартного раствора, мкг	4	8	16	24	32	48	64	80

2.3.4. Определение оксида азота

Метод основан на окислении оксида азота хромовой кислотой до диоксида и улавливании последней раствором иодистого калия. При взаимодействии диоксида азота с сульфаниловой кислотой образуется diaзосоединение, которое, реагируя с α -нафтиламином, даст азокраситель, окрашивающий раствор от бледно-розового до красно-фиолетового цвета. По интенсивности окраски раствора определяют количество оксида азота. Диоксид азота мешает этому определению. Влияние диоксида азота устраняется при помощи твердого хемосорбента. Влияние окислителей, обычно присутствующих в атмосфере, незначительно.

Метод рекомендуется для определения разовых концентраций. Диапазон измеряемых концентраций 0,013–0,26 мг/м³ при отборе пробы воздуха 5 л. Чувствительность определения – 0,065 мкг в анализируемом объеме пробы.

Реактивы и растворы. Калий йодистый, х. ч.; натрий азотистокислый, х. ч.; натрий сернистокислый, ч. д. а.; α -нафтиламин, ч. д. а.; натрий уксуснокислый (плавленый), ч.; сульфаниловая кислота, ч. д. а.; триэтаноламин, ч.; уксусная кислота, конц., х. ч.; хромовый ангидрид (CrO_3), ч. д. а.

Инертный пористый носитель (типа ТНД-ТС-М). Промывают горячей водой и высушивают в сушильном шкафу.

Сорбент диоксида азота. Указанный выше инертный пористый носитель с размером зерен 0,32–0,5 мм смачивают 20%-ным водным раствором триэтанолamina, помещают в чашку и сушат 40–60 мин при температуре 90–95° С. После высушивания сорбент должен рассыпаться.

Стабилизатор влажности. К 40 г безводного ацетата натрия медленно, по каплям, при постоянном перемешивании добавляют 13 мл воды. Получают гранулированные кристаллические зерна.

Окислитель. Инертный пористый носитель с размером зерен 0,32–0,5 мм смачивают раствором, содержащим 17 г триоксида хрома в 100 мл воды. Избыток раствора сливают, реагент высушивают при температуре 105–115° С и хранят в склянке с притертой пробкой.

Все остальные реактивы готовят в соответствии с методикой определения диоксида азота (см. п. 2.3.5).

Фильтр — стеклянная трубка (внутренний диаметр 20 мм, длина 150 мм), заполненная 15 мл сорбента для поглощения NO_2 , 15 мл гранулированного пороника стабилизатора влажности, 10 мл окислителя. Сорбенты разделены между собой тампонами из стекловаты.

Отбор проб. Для определения разовой концентрации оксида азота исследуемый воздух протягивают в течение 20 мин со скоростью 0,25 л/мин через систему, состоящую из фильтра, заполненного сорбентом для поглощения NO_2 , стабилизатором влажности, окислителем, и U-образного поглотительного прибора, заполненного 6 мл 8%-ного раствора йодистого калия.

Ход анализа. Уровень раствора в поглотительном приборе доводят дистиллированной водой до метки 6 мл. Для анализа к 5 мл раствора добавляют 0,5 мл составного реактива и встряхивают. Через 20 мин перед измерением в пробирку вносят по 5 капель 0,06%-ного раствора сульфита натрия и еще раз тщательно встряхивают. Измерения проводят в кюветах шириной 10 мм при длине волны 540 нм (светофильтр № 6 для ФЭК-56) относительно воды. Время от добавления составного реактива до измерения оптической плотности должно быть одинаковым для всех проб. Одновременно с пробами готовят нулевой раствор, для чего 5 мл поглотительного раствора анализируют аналогично пробам. Значение оптической плотности нулевого раствора должно быть не более 0,01. Количество диоксида азота в пробах определяют с помощью калибровочного графика по разности результатов измерений оптической плотности растворов пробы и нулевого. Шкалу стандартов готовят из нитрита натрия, как описано в п. 2.3.5. Калибровочный график строят по средним значениям, вычисленным из результатов измерений 3- 5 шкал. Расчет результатов анализа производят согласно п. 2.3.8. Количество оксида азота находят путем умножения полученного результата на коэффициент, учитывающий выход красителя (1.33).

2.3.5. Определение диоксида азота

Метод основан на взаимодействии диоксида азота и сульфаниловой кислоты с образованием диазосоединения, которое, реагируя с α -нафтиламином, дает азокраситель. Последний окрашивает раствор от бледно-розового до красно-фиолетового цвета. По интенсивности окраски раствора определяют количество диоксида азота.

Озон не мешает определению содержания диоксида азота в концентрациях, превышающих концентрацию NO_2 в 3 раза.

Метод рекомендуется для определения разовых концентраций.

Диапазон измеряемых концентраций составляет 0,03— 0,64 мг/м³ при отборе пробы воздуха объемом 5 л. Чувствительность определения — 0,1 мкг в анализируемом объеме пробы.

Реактивы и растворы. Калий йодистый, х. ч.; натрий азотистокислый, х. ч.

Поглотительный раствор. 40 г йодистого калия растворяют в 500 мл воды. Полученный раствор должен быть бесцветным и храниться в банке из темного стекла, срок хранения 2 недели.

Натрий сернистокислый, х. ч., 0,06%-ный раствор. 0,03 г сернистого натрия растворяют в 50 мл воды; раствор готовят перед анализом.

Уксусная кислота, х. ч., 12%-ный раствор. 64 мл концентрированной кислоты помещают в мерную посуду на 500 мл и доводят водой до метки.

Сульфаниловая кислота, ч. д. а. 0,5 г сульфаниловой кислоты растворяют в 150 мл 12%-ного раствора уксусной кислоты; хранить раствор в плотно закрытой склянке из темного стекла.

α -нафтиламин, ч. д. а. 0,2 г α -нафтиламина растворяют в 20 мл воды при нагревании на водяной бане до образования лиловых капель на дне колбы. Раствор осторожно сливают в темную склянку, оставляя осадок в колбе, и приливают к раствору 150 мл 12%-ного раствора уксусной кислоты.

Составной реактив (реактив Грисса – Илосвая). Перед анализом смешивают растворы α -нафтиламина и сульфаниловой кислоты в отношении 1:1.

Исходный стандартный раствор. 2-3 г азотистокислого натрия растирают и сушат при температуре 50-60° С в течение 2 ч. Навеску 0,15 г растворяют в мерной колбе емкостью 100 мл. 1 мл полученного раствора соответствует 1000 мкг NO_2 .

Раствор, 1 мл которого соответствует содержанию 10 мкг NO_2 , готовят разведением исходного стандартного раствора поглотительным раствором в 100 раз.

Рабочий стандартный раствор. Готовят 10-кратным разбавлением раствора, содержащего 10 мкг/мл NO_2 , поглотительным раствором. 1 мл рабочего раствора соответствует 1 мкг NO_2 .

Исходный стандартный раствор сохраняется в течение 2 недель в склянке из темного стекла. Рабочий стандартный раствор готовят перед анализом.

Отбор проб. Для определения разовой концентрации диоксида азота исследуемый воздух протягивают через U-образный поглотительный прибор с пористой пластиной № 1, наполненный 6 мл поглотительного раствора, со скоростью 0,25 л/мин в течение 20 мин. Во время отбора пробы избегают освещения поглотительного прибора прямыми солнечными лучами. Срок хранения отобранных проб не более 2 сут.

Ход анализа. Уровень раствора в поглотительном приборе доводят дистиллированной водой до метки 6 мл. Для анализа 5 мл раствора из каждой пробы переносят в пробирку и добавляют по 0,5 мл составного реактива. Содержимое пробирок тщательно встряхивают и через 20 мин (непосредственно перед измерением) в пробирки приливают по пять капель 0,06%-ного раствора сернистокислого натрия и еще раз встряхивают. Измеряют оптическую плотность растворов в кюветах шириной 10 мм при длине волны 540 нм (светофильтр № 6 для ФЭК-56) относительно воды. Время от добавления составного реактива до измерения оптической плотности для всех проб должно быть одинаковым. Одновременно с анализируемой пробой проводят измерения оптической плотности нулевой пробы, для чего 5 мл поглотительного раствора анализируют аналогично пробам. Значение оптической плотности нулевого раствора должно быть не более 0,01. Количество диоксида азота в пробах находят по калибровочному графику по разности результатов измерений оптической плотности растворов пробы и нулевого.

Калибровочный график. Для построения калибровочного графика готовят серию стандартных растворов в мерных колбах емкостью 50 мл согласно табл. 2.6.

Таблица 2.6. Калибровочные растворы при определении оксида и диоксида

Раствор	Номер стандартного раствора						
	1	2	3	4	5	6	7
Рабочий стандартный раствор (1 мкг/мл), мл	1	2	4	6	8	10	20
Поглотительный раствор, мл	До 50 мл в каждую колбу						
Соответствует содержанию: диоксида азота в 5 мл стандартного раствора, мкг	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1	2
оксида азота в 5 мл стан- дартного раствора, мкг	0,065	0,13	0,26	0,39	0,52	0,65	1,3

Для приготовления шкалы стандартов отбирают в пробирки по 5 мл каждого стандартного раствора и проводят все операции согласно ходу анализа. Калибровочный график строят по средним значениям, вычисленным из результатов измерений 3—5 шкал. Расчет результатов анализа проводят согласно п. 2.3.8.

2.3.6. Раздельное определение оксида и диоксида азота

При определении оксида и диоксида азота исследуемый воздух протягивают со скоростью 0,25 л/мин в течение 20 мин через систему, состоящую из двух последовательно соединенных поглотительных приборов с пористой пластинкой, содержащих по 6 мл 8%-ного раствора КJ, и расположенной между ними стеклянной трубки, заполненной 15 мл стабилизатора влажности и 10 мл окислителя, разделенных тампоном из стекловаты. Первый поглотительный прибор содержит 8%-ный раствор йодистого калия и служит для поглощения NO_2 из воздуха, второй содержит тот же раствор для поглощения NO_2 , образовавшегося в результате окисления NO . Анализ проб, приготовление шкалы стандартов и расчет результатов анализа проводят, как это было указано в 2.3.4 и 2.3.5.

2.3.7. Определение концентрации пыли (аэрозолей) в воздухе

Запыленность воздуха определяют по увеличению массы аэрозольного фильтра. Метод может быть использован для определения 20-минутных и среднесуточных концентраций. Диапазон измеряемых концентраций 0,1–10 мг/м³ при отборе пробы воздуха 2 м³. Чувствительность определения—0,2 мг пыли в пробе.

Изготовление фильтров. Вещества, содержащиеся в воздухе в виде аэрозоля, концентрируют, как правило, путем аспирации воздуха через фильтр, закрепленный в специальном держателе—«патроне». Обычно для этих целей используют фильтры, изготовленные из ткани на основе ультратонких волокон (ткани Петрянова). Можно использовать готовые фильтры из этой ткани определенных размеров, которые имеются в продаже, или вырезать их из ткани ФПП-15, выпускаемой промышленностью в виде листов, состоящих

из двух слоев фильтрующего материала марлевой основы. Для изготовления фильтров необходимо иметь гидравлический пресс (школьный), штампы для вырубки и опрессовки фильтров.

При изготовлении фильтров между слоями ткани прокладывают кальку, складывают ткань в три – пять слоев марлевой основой наружу и по шаблону диаметром 77 мм ножницами вырезают заготовки фильтров. При наличии штампа для вырубки фильтров число слоев увеличивают до 15. Вырезанные фильтры необходимо опрессовать во избежание отрыва отдельных волокон и для сохранения постоянства веса фильтра при его использовании. При этом вначале опрессовывают всю поверхность фильтра, а затем его края. Опрессовку поверхности фильтров производят вместе с марлевой основой и калькой при давлении 5 МПа.

Опрессованные фильтры вместе с калькой укладывают в специальную коробку. Далее с опрессованного фильтра снимают кальку и визуально проверяют равномерность слоя. Затем нумеруют фильтры, делая надписи на опрессованном краю, и вкладывают в пакетики из кальки, который помечают тем же номером.

Отбор проб. Для определения разовой концентрации пыли исследуемый воздух протягивают через фильтр АФА-ХП-18 со скоростью до 50 л/мин или через фильтр (ФПП-15 или ФПД) площадью до 36 см² со скоростью до 100 л/мин в течение 20 мин. Фильтр перед отбором проб должен быть доведен до постоянного веса. Для определения среднесуточной концентрации пыли исследуемый воздух протягивают через один и тот же фильтр из ткани ФПП-15 или ФПД 6 раз по 20 мин с той же скоростью, что и при отборе разовых проб, через равные промежутки времени. Срок хранения отобранных проб в герметичной упаковке неограничен.

Ход анализа. После отбора пробы фильтр не менее часа выдерживают в помещении, где проводилось первое взвешивание, и доводят до постоянного веса. Если отбор пробы проводился при относительной влажности воздуха около 100%, то фильтр необходимо поместить в эксикатор с плавленым хлористым кальцием на 2 ч или в сушильный шкаф с температурой 40–50°С на 30–50 мин, а затем 40–50 мин выдерживать в условиях комнатной температуры и влажности. Количество пыли определяют по разности веса фильтра после и до протягивания анализируемого воздуха. Расчет результатов анализа проводится согласно п. 2.3.8.

При необходимости дальнейшего использования фильтры после весового анализа аккуратно вкладывают с помощью пинцета с наконечниками из пластмассовых трубок в те же пакетики из кальки и передают для спектрального или химического анализа. Пакетики должны быть вложены в полистиленовые мешочки, на которые нанесены следующие данные: наименование и номер города, номер фильтра и пункта, дата и время отбора, начальный и конечный вес фильтра, скорость аспирации, температура и атмосферное давление во время отбора пробы.

Если фильтры после определения весовой концентрации будут использоваться для определения состава аэрозолей, необходимо особенно тщательно оберегать их от загрязнения. Сушить фильтры следует только в чистом сушильном шкафу и охлаждать под защитным колпаком в помещении, где

производится взвешивание. Переносить фильтры необходимо только пинцетом с наконечниками из пластмассовых трубок.

Для получения сравнимых результатов при работе с фильтрами рабочей поверхностью 18 или 10 см² скорость аспирации должна быть 50 или 25 л/мин.

При однократном использовании фильтры целесообразно хранить некоторое время на случай возникновения необходимости определения химического состава пробы.

2.3.8. Расчеты концентрации вредных веществ по результатам анализов

В процессе отбора пробы ее расход V измеряется реометром, ротаметром или иным прибором, температура t (°C) и давление p (мм рт. ст.) газа в котором отличаются от нормальных: 273 К и 760 мм рт. ст. Для приведения к нормальным условиям используется выражение

$$V_0 = \frac{273 \cdot p}{(273 + t) 760}$$

Концентрация вредного вещества (мг/м³) в отобранной и поглощенной реактивом пробе воздуха определяется по формуле

$$c = bM / (V_0 a),$$

где M – масса вещества, обнаруженного в a (мл), взятых для анализа пробы, мг; b – общий объем поглощающей жидкости в поглотительном приборе, мл; a – объем взятой для аналитического анализа пробы, мл.

Расчет концентрации пыли (мг/м³) производится по аналогичному уравнению $c = m / V_0$, где m – масса пыли в отобранной пробе, мг.

2.4. ПРИБОРЫ ДЛЯ ФИЗИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СОСТАВА ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

2.4.1. Газоанализатор оксида азота 344 ХЛ-04

Выпускается вместо газоанализатора ГХЛ-01. Пределы измерений: 0–0,3; 0–1; 0–2 г/м³. Предел допустимой основной приведенной погрешности для диапазонов измерений 0–1; 0–2 г/м³ не более $\pm 10\%$, для диапазона 0–0,3 г/м³ не более $\pm 15\%$.

Содержание неизмеряемых компонентов в анализируемой газовой смеси должно быть не более, % об.: O₂ – 3,0; CO – 1,0; CO₂ – 16; H₂ – 1,0; CH₄ – 1,0; NO₂ – 0,01; SO₂ – 0,4; SO₃ – 0,007%. Массовые концентрации пыли и воды не должны превышать соответственно 10 и 100 г/м³.

Газоанализатор типа ГХЛ-201 предназначен для непрерывного автоматического определения оксида азота в выбросах тепловых электростанций после устройства предварительной очистки и осушки пробы.

Принцип действия газоанализатора основан на хемилюминесцентном методе. Газоанализатор выполнен в унифицированном шкафу. На передней панели установлены показывающий прибор, контрольный фильтр, ротаметр и органы управления.

Электронные блоки выполнены в унифицированных типовых каркасах. В нижней части шкафа расположены разъемы для электропитания, выводы унифицированного сигнала, а также штуцеры для ввода и вывода газовых смесей.

Пределы измерений: 0 - 0,03; 0 - 0,15% или 0 - 400; 0 - 2000 мг/м³. Пределы допустимой основной приведенной погрешности на всех диапазонах измерения не более $\pm 15\%$. Выходной унифицированный токовый сигнал 0 - 5 мА. Параметры анализируемой газовой смеси: температура 5 - 50° С, избыточное давление не менее 1,5 кПа, содержание влаги не более 35 г/м³. Состав неизмеряемой части анализируемой смеси составляет CO: 0 - 1%; CO₂: 6 - 16%; H₂: 0 - 1%; CH₄: 0 - 1%; O₂: 0 - 10%; SO₂: $1 \cdot 10^{-4}\%$; SO₃: $1 \cdot 10^{-5}\%$. Содержание пыли не более 5 мг/м³. Расход анализируемой газовой смеси 60 - 80 дм³/ч. Время прогрева не более 2 ч. Питание - от сети переменного тока: напряжение 187 - 242 В, частота 49 - 51 Гц; потребляемая мощность не более 500 В·А; габаритные размеры 616 × 480 × 1656 мм; масса не более 150 кг.

Вероятность безотказной работы газоанализатора в течение 10 тыс. ч не менее 0,8. Средний срок службы не менее 6 лет.

Газоанализатор монтируют возле трубы котлоагрегата ТЭС, где амплитуда вибрации не более 0,1 мм с частотой не более 25 Гц. Вторичный прибор может быть удален от газоанализатора не более чем на 200 м.

Условия эксплуатации: температура окружающего воздуха 5 - 50° С, относительная влажность 30 - 80 при 35° С, атмосферное давление 91 - 105 кПа.

В комплект поставки входят: газоанализатор, вторичный прибор типа КСУ2-015, устройство пробоподготовки УПГ NO, комплект ЗИП, методические указания по поверке, эксплуатационная документация.

2.4.2. Газоанализатор оксидов углерода, азота и серы оптико-акустический ГИАМ-10

Газоанализатор предназначен для непрерывного контроля содержания оксида углерода (CO), оксида азота (NO), диоксида серы (SO₂) в газовых выбросах промышленных предприятий, осуществляемого путем измерения массовых концентраций CO, NO, SO₂ в подготовленной с нормированными параметрами газовой смеси, и выдачи информации в виде унифицированных выходных сигналов, пропорциональных анализируемым величинам.

Основным блоком газоанализатора является газоаналитический преобразователь, который может поставляться в различных сочетаниях с другими вспомогательными блоками. В газоаналитическом преобразователе использован оптико-акустический метод анализа газа, основанный на измерении энергии поглощения в ИК области спектра. Каждый газ поглощает ИК радиацию в определенной, свойственной ему области спектра, что обуславливает возможность проведения избирательного анализа оптико-акустическим методом. Газоаналитический преобразователь построен по дифференциальной оптической схеме с положительной фильтрацией.

Источниками ИК радиации являются два излучателя коаксиальной конструкции, в которых разогреваемые стабилизированным постоянным током нихромовые нити помещены в трубчатую оболочку из нержавеющей стали диаметром около 1 мм. Рабочая температура излучающей оболочки 600 - 700° С. Приемник

ИК излучения заполнен смесью измеряемого газа с аргонном, что обеспечивает избирательность анализа. Колебания температуры и давления, возникающие в газе, воспринимаются конденсаторным микрофоном. Амплитуда возникающих колебаний мембраны конденсаторного микрофона будет зависеть от концентрации измеряемого компонента в анализируемой смеси. Колебания мембраны преобразуются конденсаторным микрофоном в переменное напряжение, которое поступает на вход усилителя, а затем на электронный блок обработки сигнала. Для обеспечения необходимого уровня переменного напряжения на выходе конденсаторного микрофона на него подается постоянное поляризующее напряжение около 100 В.

Конструктивно газоанализатор выполнен из отдельных блоков. Основным блоком газоанализатора является газоаналитический преобразователь. Блок управления и коррекции предназначен для обеспечения работы газоанализатора в автоматическом режиме. Питание на этот блок подается только после подачи питания на газоаналитический преобразователь.

Для обеспечения работоспособности газоаналитического преобразователя анализируемая проба на его входе должна быть очищена от пыли, влаги и доставлена от места отбора с минимальным запаздыванием. Эти функции выполняют линии транспортирования и блоки пробоподготовки. Температурный режим газоанализатора обеспечивает блок регулятора температуры.

Пределы измерений: CO 0 – 5 и 0 – 15 г/м³; NO 0 – 1 и 0 – 2 г/м³; SO_2 0 – 5 и 0 – 15, или 0 – 2 и 0 – 6, или 0 – 10 и 0 – 20 г/м³. Параметры анализируемой газовой смеси: температура 70– 500° С; содержание влаги не более 240 г/м³; содержание пыли не более 100 г/м³; расход через рабочую камеру $(1 \pm 0,5)$ л/мин. Унифицированный выходной сигнал 0 – 5 или 4 – 20 мА. Предел допустимой основной приведенной погрешности не более $\pm 10\%$. Стабильность газоанализатора 14 сут. Предел рабочих температур 5 – 45° С. Питание – от однофазной сети переменного тока: напряжение 220 В, частота 50 Гц. Потребляемая мощность: газоаналитического преобразователя не более 120 В · А; блока управления и коррекции не более 80 В · А; аналогового прибора типа А542 не более 20 В · А. Средний срок службы газоанализатора не менее 8 лет.

Устанавливают газоанализатор в вентилируемом взрывобезопасном помещении, в воздухе которого отсутствуют примеси, вызывающие коррозию металлических частей и повреждение электрической изоляции.

Условия эксплуатации: температура окружающего воздуха 5 – 45° С; атмосферное давление 84– 106,7 кПа; относительная влажность окружающего воздуха 30– 80%; напряжение питания 187– 242 В.

В комплект поставки входят: газоаналитический преобразователь, прободобборник, блок управления и коррекции, блок пробоподготовки, блок регулятора температуры, аналоговый прибор, шкаф газоанализатора, комплект ЗИП, эксплуатационная документация.

2.4.3. Газоанализатор для определения массовой концентрации диоксида серы ФГ01-1

Газоанализатор ориентирован на отходящие газы ТЭС и другие аналогичные по составу газы и является переносным прибором непрерывного действия. Диапазон измерения 0– 16 г/м³. Условия эксплуатации: температура

окружающего воздуха от -10°C до $+40^{\circ}\text{C}$, давление 86,6 -106,7 кПа и относительная влажность 98% при 25°C . Производственные вибрации не должны превышать по амплитуде 0,1 мм при частоте 25 Гц.

Содержание неизмеряемых компонентов в анализируемой газовой смеси не должно выходить за следующие пределы, % об.: оксид и диоксид углерода соответственно 0 -1 и 0 -15, оксид и диоксид азота 0 -0,15, углеводороды 0—1, азот и кислород 0- 100 и 0 -20. Массовые концентрации пыли и паров воды не должны превышать соответственно 0 -10 и 0 -70 г/м³. Температура и давление газа должны находиться в пределах 70- 300° С и $101,3 \pm 20,3$ кПа.

Прибор имеет два устанавливаемых заводом диапазона измерений диоксида серы: 0--5,46 и 0- -16 г/м³.

Предусмотрен вывод результатов измерения на встроенный цифровой индикатор, внешний аналоговый самопишущий прибор и цифрорпечатающее устройство. Напряжение питания прибора составляет 187 -242 В, 50 ± 1 Гц, потребляемая мощность 120 В·А. Абсолютная основная погрешность в области концентраций диоксида 0- 5,46 г/м³ составляет 0,12 г/м³.

Прибор имеет массу 13 кг и относится к категории переносных.

Работа прибора основана на методе спектрального сканирования с частотной корреляцией полос поглощения диоксида серы, имеющих ярко выраженную характеристическую эквивалентную колебательную структуру. В качестве рабочей выбрана область спектра, в которой характеристики спектра поглощения диоксида обеспечивают возможность его определения с заданной точностью. Оптическая схема прибора основана на полихроматоре с вогнутой дифракционной решеткой.

2.4.4. Многокомпоиентный автоматический газоанализатор 305ФА-01

Газоанализатор предназначен для использования в передвижных лабораториях. Диапазон измерения: оксид и диоксид азота 0 -2; 0 -0,5 г/м³, диоксид серы 0- 10 г/м³, оксид углерода 0 -15 г/м³, аммиака 0—5 мг/м³.

Разработчик НПО «Точэлектрoприбор» ВНИИПАП.

2.5. ПРИБОРЫ ДЛЯ ФИЗИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СОСТАВА ВОЗДУХА

2.5.1. Автоматический газоанализатор оксида углерода «Палладий 2М»

Газоанализатор представляет собой автоматический прибор непрерывного действия, предназначенный для измерения концентрации оксида углерода в атмосферном воздухе. Применяется в стационарных условиях и в условиях передвижных автолабораторий. Измерение производится во время стоянок.

Принцип действия газоанализатора основан на методе потенциостатической амперометрии, заключающемся в измерении тока электрохимической ячейки.

Газоанализатор состоит из газового и измерительного блоков, установленных в один корпус. В газовом блоке размещены элементы газоподготовки и электрохимическая ячейка. В измерительном блоке расположена электронная схема, с помощью которой обеспечиваются потенциостатический режим электрохимической ячейки (ЭХЯ) и измерение тока электрохимического

окисления углерода. Газовый и измерительный блоки размещены в соответствующих частичных каркасах, установленных в приборный кожух.

Диапазоны измерений концентрации оксида углерода: 0—3; 0—10; 0—30; 0—100 мг/м³. Шкала самопишущего потенциометра градуирована в единицах измерения концентрации оксида углерода (мг/м³ СО). Цена одного деления шкалы: 0,1 мг/м³ в диапазоне измерения 0—3 мг/м³; 0,4 мг/м³ в диапазоне 0—10 мг/м³; 1 мг/м³ в диапазоне 0—30 мг/м³; 4 мг/м³ в диапазоне 0—100 мг/м³. Время прогрева в диапазонах 0—30 и 0—100 мг/м³ не более 60 мин, а в диапазонах 0—3 и 0—10 мг/м³ не более 180 мин. Номинальное время установления показаний не более 2 мин для диапазонов 0—30 и 0—100 мг/м³ и 10 мин для диапазонов 0—3 и 0—10 мг/м³. Газоанализатор имеет унифицированный выход 0—10 мВ по ГОСТ 9895—78.

Предел допустимой основной приведенной погрешности, выраженной в процентах разности между пределами измерений, не превышает: $\pm 25\%$ для диапазона измерения 0—3 мг/м³; $\pm 20\%$ для диапазона 0—10 мг/м³; $\pm 10\%$ для диапазона 0—30 и 0—100 мг/м³.

Напряжение питания: $(12 \pm 1,2)$ В постоянного тока или $\left(220 \pm \frac{22}{33}\right)$ В переменного тока, частота 50 Гц. Потребляемая мощность не более 60 В·А.

Средний срок службы газоанализатора не менее 8 лет. Средний ресурс не менее 30 тыс. ч. Нарботка на отказ не менее 20 тыс. ч.

Условия эксплуатации: температура окружающего воздуха 5—50° С, относительная влажность до 90% при 5—35° С и до 80% при 35—50° С, атмосферное давление 91—105 кПа. Длина линии анализируемого газа от точки отбора пробы до газоанализатора не более 5 м; изменение пространственного положения от горизонтального на угол до 20° в любом направлении.

2.5.2. Автоматический газоанализатор диоксида серы 667ФФ-01

Газоанализатор предназначен для определения концентрации диоксида серы (SO₂) в атмосферном воздухе. Используется для контроля загрязнения атмосферы крупных городов и промышленных центров. Входит в состав газоизмерительной автоматической многоканальной системы (ГАМС) автоматической станции контроля загрязнения атмосферы (АСКЗА), а также может применяться автономно.

Газоанализатор имеет двухканальную дифференциальную структуру. Через флуоресцентную камеру непрерывно прокачивается анализируемая газовая смесь, содержащая SO₂. «Нулевой» и реперный газы вырабатываются соответствующими встроеными устройствами.

Принцип работы основан на регистрации флуоресцентного излучения молекул SO₂, возникающего под воздействием возбуждающего ультрафиолетового (УФ) излучения. Возбуждение молекул диоксида серы осуществляется в спектральной области 220—240 нм, выделяемой с помощью первичного светофильтра из спектра излучения импульсной ксеноновой лампы ИСК 20-1. Флуоресценция молекул SO₂ регистрируется под углом 90° к направлению возбуждающего излучения фотоэлектронным умножителем (ФЭУ) в спектральной области 260—370 нм, выделяемой вторичным светофильтром.

Исполнение газоанализатора -блочно-модульное, предусматривающее возможность раздельной наладки блоков.

Диапазон измерений: 0- 0,5; 0 -1,5; 0 -5 мг/м³. Предел допустимой основной приведенной погрешности на всех диапазонах измерения не более $\pm 20\%$. Время установления показаний не более 240 с. Время прогрева не более 3 ч. Предел допустимого изменения показаний газоанализатора при непрерывной работе в течение 24 ч без автоматической и ручной корректировки не более 1/2 значения предела допустимой основной приведенной погрешности. Погрешность корректировки нуля и чувствительности от верхнего предела измерений не более $\pm 5\%$. Питание - от однофазной сети переменного тока: напряжение 220 В, частота 50 Гц. Потребляемая мощность не более 0,4 кВт·А.

Средний срок службы не менее 8 лет. Средний ресурс не менее 8000 ч. Газоанализатор работает при температуре окружающего воздуха 10- -35° С, относительной влажности 30- 80%, атмосферном давлении 90,6 - 104,4 кПа.

2.5.3. Газоанализатор SO₂ и H₂S «Атмосфера 1М»

Газоанализатор переносной (ручной) предназначен для определения содержания диоксида серы и сероводорода в атмосферном воздухе и воздухе производственных помещений. Применяется в здравоохранении, гидрометеорологии, а также в энергетической, металлургической, нефтехимической и химической отраслях промышленности. Принцип действия газоанализатора основан на методе потенциометрической кулонометрии. При определении диоксида серы и газовой смеси используется предварительная реакция его с йодом с образованием йодоводорода, который затем окисляется на измерительном электроде электрохимической ячейки, электрический ток, возникающий в цепи электродов, является мерой концентрации сернистого газа; электрохимическая ячейка работает в режиме гальванического элемента.

При определении сероводорода химические реакции, происходящие в ячейке и ведущие к образованию йодоводорода, значительно сложнее, чем реакции при определении диоксида серы. Из основных можно выделить непосредственное взаимодействие сероводорода с йодом, окисление сероводорода до диоксида серы с последующим взаимодействием диоксида серы с йодом. Результирующий ток этих реакций зависит от температуры. Поэтому концентрация сероводорода в анализируемом газе определяется по монограмме в зависимости от тока электролиза и температуры электролита.

Пределы измерений -диоксида серы: 0 -0,5; 0 -2; 0 -10 мг/м³; сероводорода 0 -0,05, 0 - 0,5 мг/м³. Основная приведенная погрешность (% верхнего предела измерений): для диоксида серы $\pm 20\%$; для сероводорода $\pm 50\%$. Допустимые изменения показаний газоанализатора -дополнительные погрешности (в долях от предела допустимой основной приведенной погрешности) при изменении температуры окружающей среды в пределах 0- 50° С на каждые $\pm 10^\circ$ С от температуры, при которой определялась основная погрешность, не более $\pm 0,4$; при изменении температуры анализируемой среды в пределах -20- +50 С на каждые $\pm 10^\circ$ С относительно ее градуировочного значения не более $\pm 0,4$; при изменении атмосферного давления в пределах 90,7 - 105 кПа на каждые 3,333 кПа от давления, при котором определялась

основная погрешность, не более $\pm 0,4$; при изменении напряжения питания на $\pm 0,4$ В от 6 В не более $\pm 0,3$. Суммарная дополнительная приведенная погрешность не превышает удвоенного значения предела основной приведенной погрешности.

Пределы концентраций основных мешающих компонентов в анализируемой среде: при определении диоксида серы — озона $0,1 \text{ мг/м}^3$, хлора $0,12 \text{ мг/м}^3$, сероводорода $0,01 \text{ мг/м}^3$; при определении сероводорода — озона $0,12 \text{ мг/м}^3$, хлора $0,12 \text{ мг/м}^3$, диоксида серы $0,25 \text{ мг/м}^3$. Температура анализируемой среды от -20 до $+50^\circ \text{C}$. Расход анализируемой среды $13,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ (50 ± 2) л/ч. Содержание механических примесей до 100 мг/м^3 .

Время прогрева газоанализатора до 10 мин. Время начала реагирования до 1 мин. Дрейф нуля газоанализатора при непрерывной работе в течение 7 ч составляет $\pm 5\%$ диапазона измерения. Время непрерывной работы газоанализатора от внутреннего источника питания 7 ч. Питание: от источника переменного тока напряжением $(220 \pm 22) \text{ В}$, частотой $(50 \pm 1) \text{ Гц}$; от источника постоянного тока (блока питания) напряжением $(6 \pm 0,4) \text{ В}$. Потребляемая мощность $4 \text{ В} \cdot \text{А}$. Габаритные размеры: датчика $490 \times 196 \times 293 \text{ мм}$; зарядного блока $129 \times 191 \times 141 \text{ мм}$; блока питания $183 \times 115 \times 220 \text{ мм}$; потенциометра $240 \times 320 \times 445 \text{ мм}$. Масса: датчика 10 кг, зарядного блока 5 кг, блока питания 5 кг, потенциометра 17 кг.

Наработка на отказ не менее 4500 ч. Средний срок службы не менее 6 лет. Газоанализатор рассчитан для работы при температуре окружающего воздуха $0 \dots 50^\circ \text{C}$, относительной влажности воздуха 30—90%, атмосферном давлении 90,7—105 кПа.

2.5.4. Автоматический газоанализатор оксидов азота 645ХЛ-01

Газоанализатор предназначен для непрерывного автоматического измерения концентрации оксида, диоксида и суммы оксидов азота в атмосферном воздухе методом хемилюминесценции. Применяется в составе газоизмерительной автоматической многоканальной системы автоматической станции контроля загрязнения атмосферы и автономно.

Газоанализатор имеет блочно-модульное исполнение и состоит из блоков: анализа (БА-100), электронного (БЭ-101), побудителя расхода (БПР-001) и автоматического управления (БАУЗ-001).

Пределы измерений: $0—0,25$; $0—0,75$; $0—2,5$; $0—7,5 \text{ мг/м}^3$. Предел допустимой основной приведенной погрешности на всех диапазонах измерения (не более): для NO и NO_2 $\pm 20\%$; для NO_x $\pm 30\%$. Выходной унифицированный токовый сигнал $0—5 \text{ мА}$. Параметры анализируемой газовой смеси: температура $-40 \dots +40^\circ \text{C}$; давление — атмосферное. Изменение состава измеряемой части анализируемой газовой смеси относительно нулевого значения: CO до 200 мг/м^3 ; CH_4 до 50 мг/м^3 ; H_2 до 1 мг/м^3 ; сумма окислителей в пересчете на O_3 до $1,25 \text{ мг/м}^3$; пыль до 10 мг/м^3 ; O_2 до 10 мг/м^3 . Расход анализируемой газовой смеси 1—2 л/мин. Время прогрева не более 3 ч.

Питание — от сети переменного тока: напряжение 187—242 В, частота 49—51 Гц. Потребляемая мощность $0,4 \text{ кВт} \cdot \text{А}$. Масса (без баллонов) не более 80 кг.

Вероятность безотказной работы газоанализатора в течение 1000 ч не менее 0,8. Средний срок службы не менее 6 лет.

Условия эксплуатации: температура окружающей среды 10 - 35 °С, относительная влажность 30 - 90% при 35 °С, атмосферное давление 90,6 - 107 кПа.

Раздел третий

ЗАКОНЫ РАССЕЙВАНИЯ ТОКСИЧНЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРЕ

3.1. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ, ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОВ РАСЧЕТА

Излагаемые ниже нормативные методы расчета базируются на разработанной в Главной геофизической обсерватории Госкомгидромета под руководством М. Е. Берлянда математической модели рассеивания газообразных и аэрозольных примесей в атмосфере воздуха [1, 2]. Нормы обязательны при проектировании и реконструкции предприятий, а также при нормировании их выбросов в атмосферу. Нормы позволяют рассчитывать концентрации вредных и любых других примесей в составе выбрасываемых газов в двухметровом слое на уровне земли, а также в вертикальном и горизонтальном сечении дымового факела на расстоянии не более 100 км от источника. В зависимости от высоты выброса от поверхности земли источники делятся на четыре класса: высокие (более 50 м); средние (10 - 50 м); низкие (2 - 10 м) и наземные (менее 2 м). Если в процессе контакта с атмосферой под действием солнечной радиации или других факторов происходит трансформация одних соединений в другие, в концентрации и состав компонентов вносятся соответствующие поправки. В нормативах указывается, что необходимо исходить из максимально возможной степени трансформации, которая устанавливается по согласованию с Госкомгидрометом и Минздравом СССР.

Применительно к продуктам сгорания трансформация распространяется на NO и SO₂. Как известно, на срезе дымовой трубы мы имеем дело с окислами азота в форме NO. До NO₂ в газоходах энергетических котлов окисляется не более 5%. В атмосфере под действием озона и других факторов степень доокисления возрастает до 60% [3, 4, 5].

Оксид серы частично (примерно 5%) окисляется до SO₃ в газоходах котлов только при сжигании высокосернистых мазутов и газов. По законам химической термодинамики, в конечном счете, весь оксид серы должен перейти в триоксид и аэрозоли серной кислоты, однако кинетика этого процесса не исследована и расчеты вредности ведутся без учета трансформации.

Нормативный метод позволяет рассчитывать поля концентраций, создаваемые дымовыми трубами, а также линейными и плоскостными источниками. Под последними понимаются вентиляционные фонари цехов, улицы с интенсивным движением автотранспорта и скопление многочисленных мелких низких источников.

Следует особо остановиться на вероятностной особенности рассчитываемых по нормативному методу концентраций. Используемые в теплоэнергетике и механике расчетные формулы отражают значение того или иного параметра в зависимости от совокупности определяющих рассматриваемые состояния факторов. Отклонение фактически измеряемого значения от расчетного должно укладываться в пределы погрешностей математической модели и измерений и, как правило, не превосходить десяти-двадцати процентов.

Концентрации, измеренные в натуральных условиях, как правило, во много раз ниже и только в редких исключениях выше концентраций, рассчитанных по нормативному методу для отвечающих этим условиям параметров.

Природа динамики атмосферы такова, что реально наблюдаемые под факелом ТЭС концентрации подчиняются не стохастическим, а вероятностным законам и меняются в пределах, отличающихся друг от друга на несколько порядков. Рассчитанные по методике значения концентраций относятся к так называемым «неблагоприятным метеоусловиям», продолжительность которых не превышает 1-2% (86-150 ч) в течение года. Таким образом, на протяжении года подавляющее число фактически наблюдаемых концентраций будет значительно ниже расчетных. Следует предостеречь против отождествления расчетной концентрации со среднегодовой. Фактически измеренная среднегодовая концентрация в 30—40 раз ниже рассчитанной. Как сказано в методике, расчетные концентрации соотносятся с 20-30-минутным интервалом осреднения. Нормативный метод позволяет определять поля концентраций как токсичных, так и любых других компонентов выбросов.

3.2. РАСЧЕТ КОНЦЕНТРАЦИЙ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ВЫБРОСАМИ ОДИНОЧНОГО ИСТОЧНИКА

3.2.1. Генеральная расчетная формула

Под одиночным или точечным источником понимается дымовая труба ТЭС или иного предприятия. Опорным значением нормативного метода является максимальное значение обусловленной ТЭС приземной концентрации. Максимальная приземная концентрация относится к неблагоприятным метеоусловиям и для горячих источников ($\Delta T \gg 0$) определяется из выражения

$$c_m = A M F m n \eta / [H^2 \sqrt[3]{V_1 \Delta T}]. \quad (3.1a)$$

Для источников, температура выброса которых мало отличается от температуры воздуха ($\Delta T \approx 0$), используется выражение

$$c_m = A M F m n \eta K / H^{4/3}. \quad (3.1b)$$

В приведенных выше формулах: H — высота трубы, м; M — расход выбрасываемого в атмосферу вещества, г/с; $\Delta T = T_r - T_b$ — разность температур выбрасываемых газов и атмосферного воздуха; V_1 — полный расход выбрасываемых (дымовых) газов на срезе трубы, м³/с; A , F , m , n , η — коэффициенты, определение которых дано ниже.

3.2.2. Климатический коэффициент A

Рассеивающие свойства атмосферы при неблагоприятных метеорологических условиях, т. е. при условиях, отвечающих статистическому максимуму концентраций, определяются климатической зоной СССР и приведены в табл. 3.1. Для территорий, не означенных в таблице, согласно [2] «Значения коэффициента A должны приниматься соответствующими значениям для районов СССР со сходными климатическими условиями турбулентного обмена».

Таблица 3.1. Значения коэффициента A

Географические районы	A
Средняя Азия южнее 40° северной широты, Бурятская АССР, Читинская область	250
Европейская территория Союза (ЕТС), районы РСФСР южнее 50° северной широты, остальные районы Нижнего Поволжья, Кавказа и Молдавии, Азиатская территория Союза, Казахстан, Дальний Восток и остальные территории Сибири и Средней Азии, районы Украины южнее 50° северной широты, источники высотой менее 200 м	200
Европейская территория и Урал от 50 до 52° северной широты, за исключением попадающих в эту зону перечисленных выше районов Украины, районы Украины между 50 и 52° северной широты, источники высотой менее 200 м	180
Европейская территория Союза и Урала севернее 52° северной широты (за исключением центра ЕТС)	160
Московская, Тульская, Рязанская, Владимирская, Калужская, Ивановская области	140

3.2.3. Коэффициент F , учитывающий сепарацию частиц золы

Как известно, интенсивность сепарации определяется отношением скорости витания (оседания) частицы v_g к турбулентности, которая, в свою очередь, пропорциональна скорости тока (ветра) u . Чем больше отношение v_g/u , тем интенсивнее идет сепарация и выше коэффициент F . Скорость витания частицы рассчитывается по закону Стокса

$$v_g = g d^2 \rho / (18\mu), \quad (3.2)$$

где d – диаметр частицы, м; ρ – плотность частицы, кг/м³; μ – динамическая вязкость воздуха, н·с/м²; g – ускорение свободного падения, м/с².

Уравнение Стокса предполагает сферическую форму частиц. Поскольку реальные частицы не сферичны, скорости их витания ниже, то расчет содержит некоторый запас экологической надежности. На рис. 3.1 представлена выполненная с уточняющими поправками номограмма для определения скорости витания частиц [6]. Левая и верхняя шкалы даны для частиц 10–300 мкм, правая и нижняя – для частиц 0,1–30 мкм.

Как известно, зола в дымовых газах представлена широким спектром размеров частиц. Для иллюстрации приведена заимствованная из [7] табл. 3.2, характеризующая дисперсный состав золы разных ТЭС. За расчетный диаметр

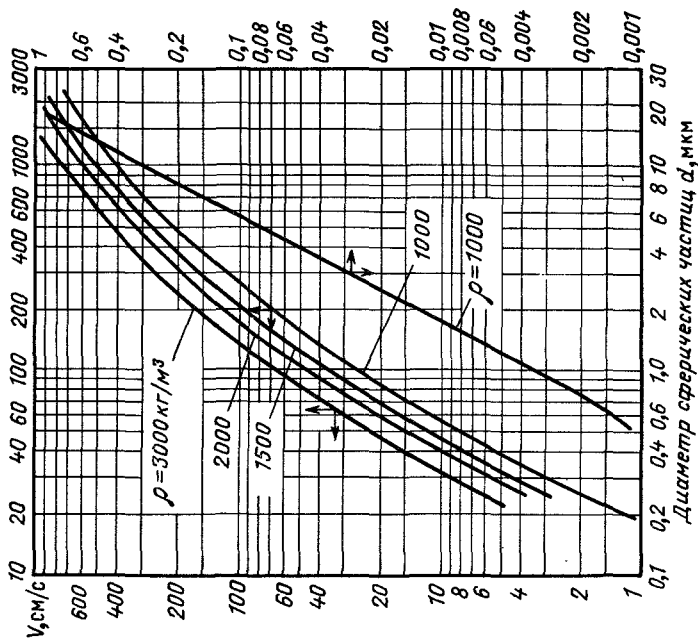


Рис. 3.1. Скорость оседания сферических частиц V в атмосферном воздухе при 20°C

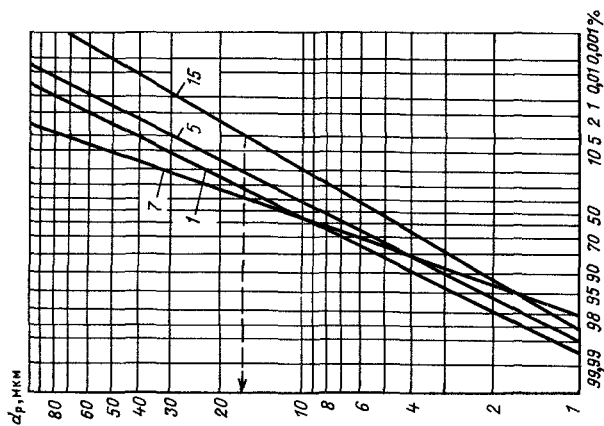


Рис. 3.2. Суммарная масса частиц (%), превышающих по размеру диаметр d . Номера у кривых отвечают порядковым номерам из табл. 3.2 (ключ: для золь $d_s = 17$ мкм)

d_5 приняг диаметр, удовлетворяющий условию, что частицы большего, чем d_5 , размера составляют 5% общей массы частиц. Подробнее об этом будет сказано ниже. Для выхода на d_5 сделаем некоторые общие пояснения. Как показали специальные исследования, диаметры частиц золы укладываются в рамки распределения Гаусса, интерпретируемого на логарифмически нормальном графике рис. 3.2 пучком прямых линий. Цифрами у линий обозначены соответствующие табл. 3.2 ТЭС. Напомним особенность чтения кривой распределения. Так, например, точка с координатами 2 мкм и 10% означает: частицы диаметром меньше 2 мкм составляют 10% массы всех частиц или что частицы диаметром больше 2 мкм составляют $100 - 10 = 90\%$ массы.

Таблица 3.2. Дисперсный состав летучей золы после различных золоуловителей, %

№ п/п.	Уголь	Тип золоуловителя	Степень очистки газа, %	Фракция золы, мкм					
				> 5	> 10	> 15	> 30	> 40	> 60
1	Экибастузский	БЦ	77,2	82	52,5	36	11	7	3,5
2	Кемеровский	Скруббер ВТИ Ø1240 мм	90	80	55	39	15,5	10	5
3	Челябинский	МП-ВТИ Ø3100 мм	92	86	59	38	8	5	2,5
4	Экибастузский	С трубой Вентури	96,5	76	54	38	14	6,5	2
5	Тхварчельский	МП-ВТИ Ø2300 мм	97	75	50,5	32,3	7,3	3,8	1
6	Экибастузский	С трубой Вентури	98,3	75	51	34	11,5	6	1,7
7	То же	Электрофильтр	87,2	77	39	27	15	12	18,5
8	»	»	88,2	75	42	29	17	13	7
9	»	»	9	62	36,5	24,5	11,5	8	3,5
10	Донецкий АШ	Электрофильтр ПГД-4-50	90,8	75	53,5	42	26,5	20,5	13
11	То же	То же	92,5	80	57	41	20	14	7
12	»	»	96,5	55	36,5	30	19	14	7,5
13	»	Топка с ЖШУ + БЦ	90	73	21,5	9	2	1,2	0
14	»	БЦ + МП - ВТИ Ø2300 мм	93,5	46	13	6,5	0,2	0	0
15	»	Топка ЖШУ + БЦ + + электрофильтр	99	55	9,5	3,5	1	0,3	0

Располагая характеристикой золы хотя бы для двух диаметров ее частиц, их наносят на график и проводят прямую. Искомый диаметр находят на пересечении прямой с ординатой 95%. Именно по этому диаметру d_5 по формуле (3.2) или рис. 3.1 определяется скорость витания (оседания) v_g . Если

значение $\frac{v_g}{u} \leq 0,015$, принимается $F=1$. При $0,015 < \frac{v_g}{u} < 0,03$ принимают $F=1,5$.

Описанные расчеты следует выполнять для малозольных топлив, например мазута, или для ТЭС с глубокой очисткой газов от золы, когда степень улавливания золы более 90%.

В случае $\frac{v_g}{u} > 0,03$ при степени очистки дымовых газов не менее 90% принимают $F=2,0$; при 75—90% $F=2,5$; при отсутствии очистки $F=3$. Вне 56

зависимости от глубины очистки коэффициент F принимается равным 3 при расчетах концентрации пыли в атмосферном воздухе для производств, в которых содержание водяного пара в выбросах достаточно для того, чтобы в течение всего года наблюдалась его интенсивная конденсация сразу же после выхода в атмосферу, а также коагуляция влажных пылевых частиц. Признаком интенсивной конденсации служат наблюдаемые летом плотные клубы пара, образующиеся на расстоянии 1–3 м от среза трубы и в дальнейшем, как правило, растворяющиеся в атмосфере. В энергетике такая ситуация может иметь место при сжигании влажных, высоководородных топлив и мокрых способах очистки от золы или окислов серы.

3.2.4. Коэффициенты m и n , учитывающие подъем факела над трубой

Значения этих коэффициентов определяются по вспомогательным величинам, вычисляемым в свою очередь по конструктивным параметрам:

$$f = 1000 w_0 D / (H^2 \Delta T); \quad (3.3)$$

$$v_m = 0,65 \sqrt[3]{V_1 \Delta T / H}; \quad (3.4)$$

$$v'_m = 1,3 w_0 D / H; \quad (3.5)$$

$$f_e = 800 (v'_m)^3.$$

Коэффициент m определяется по графику рис. 3.3 или по формуле

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \sqrt{f} + 0,34 \sqrt[3]{f}} \quad \text{при } f < 100, \quad (3.6a)$$

$$m = 1,47 / \sqrt[3]{f} \quad \text{при } f > 100. \quad (3.6b)$$

В случаях, когда $f_e < f < 100$, коэффициент m вычисляется при $f = f_e$.

Коэффициент n при $f < 100$ определяется в зависимости от v_m по рис. 3.4 или по формулам

$$n = 1 \quad \text{при } v_m \geq 2; \quad (3.7a)$$

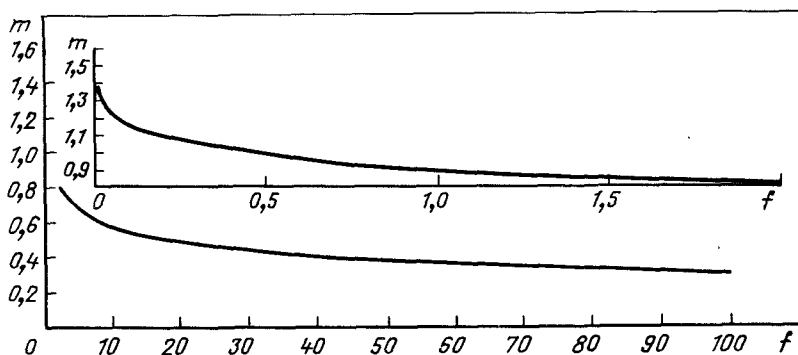
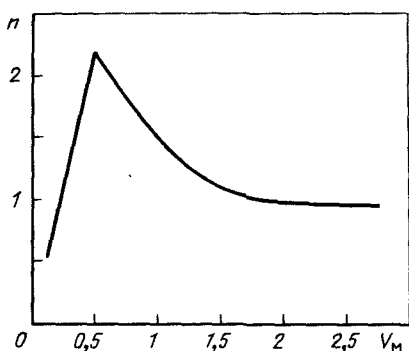


Рис. 3.3. Номограмма для определения коэффициента:

$$m = (0,67 + 0,1 \sqrt{f} + 0,34 \sqrt[3]{f})^{-1}$$

Рис. 3.4. График для определения коэффициента n



$$n = 0,532v_m^2 - 2,13v_m + 3,13 \quad \text{при } 0,5 \leq v_m \leq 2; \quad (3.76)$$

$$n = 4,4v_m \quad \text{при } v_m \leq 0,5. \quad (3.7v)$$

Для холодных выбросов, т. е. таких, когда температура газов мало отличается от температуры воздуха, $\Delta T \approx 0$, величины $f \geq 100$ и $v'_m > 0,5$, формула (3.1a) не работает ($1/\Delta T \rightarrow \infty$) и расчет приземной концентрации выполняется по (3.1б), в которой

$$K = D / (8 V_1) = 1 / (7,1 \sqrt{w_0 V_1}), \quad (3.8)$$

где D , w_0 — диаметр устья трубы, м, и средняя по сечению скорость газов в нем, м/с.

Для предельно малых опасных скоростей ветра, когда $f < 100$, $v_m < 0,5$ или $f > 100$, $v'_m < 0,5$, приземные концентрации рассчитываются по формуле

$$c_m = AMFm' \eta / H^{7/3}, \quad (3.9)$$

где $m' = 2,86m$ при $f < 100$; $v_m < 0,5$;

$m' = 0,9$ при $f > 100$; $v'_m < 0,5$.

Надо иметь в виду, что формулы расчета приземных концентраций (3.1б) и (3.9) могут быть выведены из (3.1a).

3.2.5. Расстояние x_m от источника до координаты максимума концентраций

Для горячих источников расстояние x_m (м) от источника выбросов до точки, в которой приземная концентрация c (мг/м³) при неблагоприятных метеорологических условиях достигает максимального значения c_m , определяется по формуле

$$x_m = \frac{5-F}{4} Hd, \quad (3.10)$$

где безразмерный коэффициент d при $f < 100$ находится по формулам:

$$d = 2,48(1 + 0,28 \sqrt[3]{f_e}) \quad \text{при } v_m \leq 0,5;$$

$$d = 4,95v_m(1 + 0,28 \sqrt[3]{f}) \quad \text{при } 0,5 < v_m \leq 2; \quad (3.11)$$

$$d = 7\sqrt{v_m}(1 + 0,28 \sqrt[3]{f}) \quad \text{при } v > 2.$$

Для холодных источников при $\Delta T \approx 0$ и $f > 100$ значение коэффициента d находится по формулам

$$\begin{aligned} d &= 5,7 \text{ при } v'_m \leq 0,5; \quad d = 11,4 v'_m \text{ при } 0,5 < v'_m < 2; \\ d &= 16 \sqrt{v'_m} \text{ при } v'_m > 2. \end{aligned} \quad (3.12)$$

3.2.6. Опасная скорость ветра u_m

Как показали исследования, при прочих равных условиях приземная концентрация достигает своего максимума c_m при некоторой, получившей название опасной, скорости ветра u_m . При больших и меньших скоростях концентрации снижаются. Поскольку с высотой скорость ветра увеличивается, принято измерять ее на отметке 10 м. Для горячих источников $f < 100$ опасная скорость подсчитывается по формулам

$$\begin{aligned} u_m &= 0,5 \text{ при } v_m \leq 0,5; \quad u_m = v_m \text{ при } 0,5 < v_m < 2; \\ u_m &= v_m (1 + 0,12 \sqrt{f}) \text{ при } v_m > 2. \end{aligned} \quad (3.13)$$

Для холодных выбросов при $\Delta T \approx 0$ и $f \geq 100$ опасная скорость вычисляется по формулам

$$\begin{aligned} u_m &= 0,5 \text{ при } v'_m \leq 0,5; \quad u_m = v'_m \text{ при } 0,5 < v'_m < 2; \\ u_m &= 2,2 v'_m \text{ при } v'_m > 2. \end{aligned} \quad (3.14)$$

Подведем некоторые терминологические итоги. Концентрации, рассчитанные по формулам (3.1а), (3.1б) и (3.9), представляют собой координатные максимумы, наблюдаемые под осью факела на расстоянии x_m от источника при опасной скорости ветра. Дальше и ближе x_m и при удалении от оси концентрации падают.

3.2.7. Поправка r и p на скорость ветра

Уровень максимальных концентраций c_m снижается, а координата его смещается при скоростях ветра, отличных от опасной. Максимальное значение приземной концентрации вещества G_{mu} (мг/м^3) при неблагоприятных метеорологических условиях и скорости ветра u (м/с), отличающейся от опасной скорости ветра u_m (м/с), определяется по формуле

$$c_{mu} = r c_m, \quad (3.15)$$

где r - безразмерная величина, определяемая в зависимости от отношения u/u_m по рис. 3.5 или по формулам $r = 0,67(u/u_m) + 1,67(u/u_m)^2 - 1,34(u/u_m)^3$ при $u/u_m \leq 1$;

$$r = \frac{3(u/u_m)}{2(u/u_m)^2 - (u/u_m) + 2} \text{ при } u/u_m > 1. \quad (3.16)$$

Следует помнить, что при проведении расчетов не используются значения скорости ветра менее 0,5 м/с, а также скорости ветра $u > u^*$, где u^* - значение скорости ветра, превышаемое в данной местности в среднем многолетнем

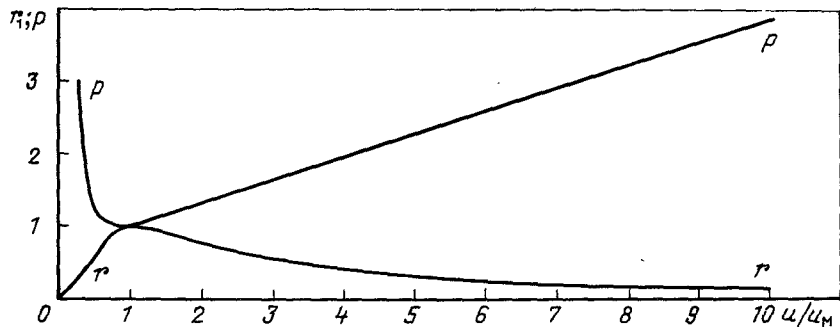


Рис. 3.5. Номограмма для определения коэффициентов r и p

режиме в 5% случаев. Это значение запрашивается в УГКС Госкомгидромета, на территории которого располагается предприятие, или определяется по климатическому справочнику.

Отход от опасной скорости ветра, кроме изменения уровня максимальных концентраций, изменяет и их расстояние от источника выбросов. Новому «неопасному» значению скорости ветра будет отвечать полярная координата новой точки максимума

$$x_{mu} = p x_m, \quad (3.17)$$

где p – безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от отношения u/u_m по формулам

$$\begin{aligned} p &= 3 \text{ при } u/u_m \leq 0,25; \quad p = 8,43(1 - u/u_m)^5 + 1 \text{ при } 0,25 < u/u_m \leq 1; \\ p &= 0,32u/u_m + 0,68 \text{ при } u/u_m > 1. \end{aligned} \quad (3.18)$$

На рис. 3.5 представлена номограмма для определения поправок r и p в зависимости от отношения скоростей u/u_m .

3.2.8. Коэффициент s_1 , учитывающий изменение концентраций вдоль факела

Изменение приземных концентраций вдоль оси факела представлено на безразмерном графике рис. 3.6, а. На вспомогательных графиках 3.6, б показаны начальный и конечный участки этой же кривой. Ось абсцисс нормирована расстоянием от источника до точки максимума, x_m для случая опасной скорости ветра и x_u для любой другой скорости.

При опасной скорости ветра u_m приземная концентрация вредных веществ c (мг/м³) в атмосфере по оси факела выброса на различных расстояниях x (м) от источника выброса определяется также и по формуле

$$c = s_1 c_m, \quad (3.19)$$

где s_1 – безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от отношения x/x_m или x/x_u и коэффициента F по формулам

$$s_1 = 3(x/x_m)^4 - 8(x/x_m)^3 + 6(x/x_m)^2 \text{ при } x/x_m \leq 1;$$

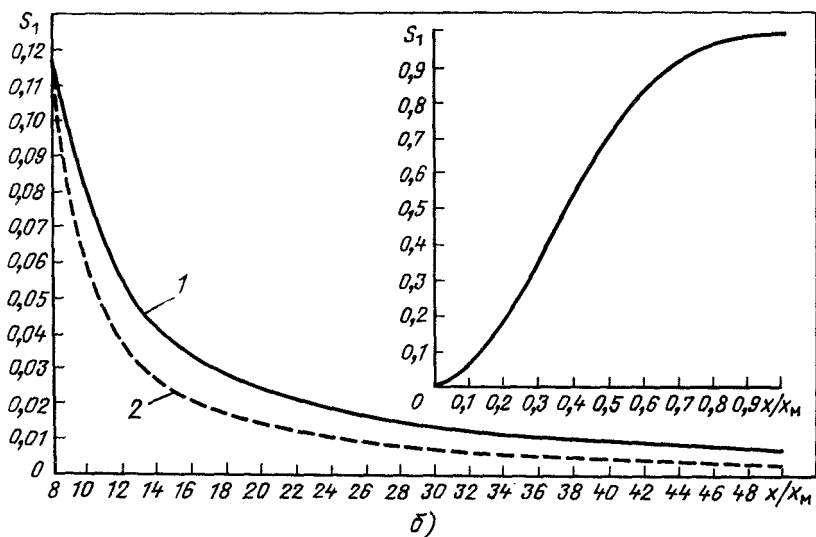
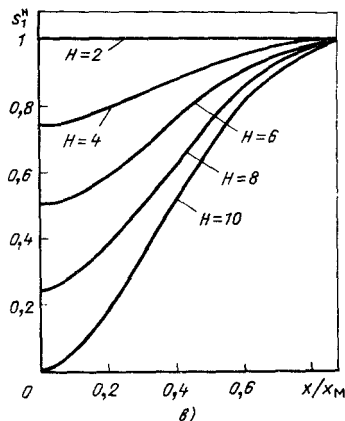
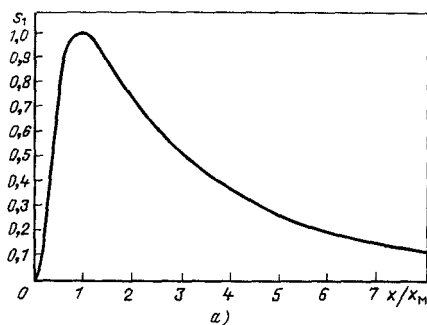


Рис. 3.6. График для определения коэффициента S_1 , учитывающего удаление от источника:

а — общий вид; б — на расстояниях от 8 до 5 и от 0 до 1 x/x_m ; 1, 2 — легкая и тяжелая примеси; в — то же для $s_1^H = 0,125(10 - H) + 0,125(H - 2)s_1$ при $2 \leq H < 10$; $x/x_m < 1$

$$s_1 = \frac{1,13}{0,13(x/x_m)^2 + 1} \quad \text{при } 1 < \frac{x}{x_m} \leq 8;$$

$$s_1 = \frac{x/x_m}{3,58(x/x_m)^2 - 35,2(x/x_m) + 120} \quad \text{при } F \leq 1,5 \text{ и } \frac{x}{x_m} > 8;$$

$$s_1 = \frac{1}{0,1(x/x_m)^2 + 2,47(x/x_m) - 17,8} \quad \text{при } F \geq 1,5 \text{ и } \frac{x}{x_m} > 8. \quad (3.20)$$

Для низких и наземных источников (высотой H не более 10 м) при значениях $x/x_m < 1$ величина s_1 в (3.19) заменяется на величину s_1'' , определяемую в зависимости от x/x_m и H по рис. 3.6, в или по формуле

$$s_1'' = 0,125(10 - H) + 0,125(H - 2)s_1 \quad \text{при } 2 \leq H < 10. \quad (3.21)$$

Уравнения (3.20) составлены для опасной скорости ветра u_m и отвечающей ей координаты максимума концентраций x_m . Для скоростей u , отличающихся от опасной, вместо x_m берется отвечающая этим скоростям координата максимума x_{mu} , т. е. отношение x/x_{mu} .

3.2.9. Поправка s_2 для определения концентраций в точках с координатами $x, y \neq 0$, не лежащих на оси факела

Значение приземной концентрации вредных веществ в атмосфере c_y (мг/м^3) на расстоянии y по перпендикуляру к оси факела выброса определяется по формуле

$$c_y = s_2 c, \quad (3.22)$$

где s_2 - безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от скорости ветра u (м/с) и отношения y/x по значению аргумента t_y :

$$\left. \begin{aligned} t_y &= uy^2/x^2 & \text{при } u \leq 5; \\ t_y &= 5y^2/x^2 & \text{при } u > 5, \end{aligned} \right\} \quad (3.23)$$

далее по формуле

$$s_2 = \frac{1}{(1 + 5t_y + 12,8t_y^2 + 17t_y^3 + 45,1t_y^4)^2}. \quad (3.24)$$

Расчеты по последней формуле могут быть заменены номограммой рис. 3.7. Под c понимается концентрация на произвольном удалении от источника x при произвольной скорости ветра.

3.2.10. Поправка s'_1 на «опасную» скорость ветра в произвольной точке x

Выше мы ввели понятие опасной скорости ветра, как скорости, при которой достигает наибольшего значения экстремальная по длине факела величина приземной концентрации. Для произвольной координаты $x \neq x_m$ существует своя «опасная» скорость ветра u_{mx} и отвечающая ей своя максимальная концентрация

$$c_{mx} = s'_1 c_m. \quad (3.25)$$

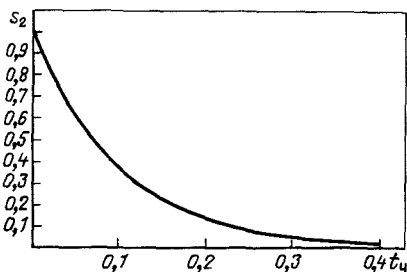


Рис. 3.7. График для определения коэффициента S_2 , учитывающего поперечное рассеивание факела

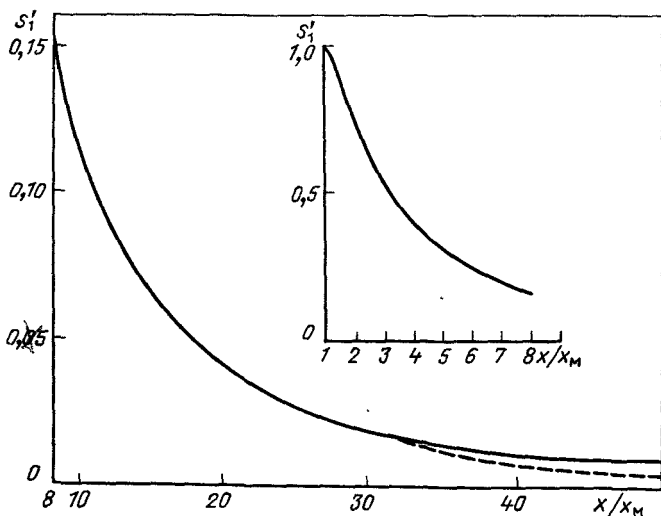


Рис. 3.8. Номограмма для определения координаты максимальной концентрации при u_{mx}

где s_m — величина, определенная по формулам (3.1а), (3.1б) и (3.9). Безразмерный коэффициент s'_1 находится в зависимости от отношения x/x_m или по формулам

$$\begin{aligned}
 s'_1 &= 3(x/x_m)^4 - 8(x/x_m)^3 + 6(x/x_m)^2 \quad \text{при} \quad \frac{x}{x_m} \leq 1; \\
 s'_1 &= \frac{1,1}{0,1(x/x_m)^2 + 1} \quad \text{при} \quad 1 < \frac{x}{x_m} \leq 8; \\
 s'_1 &= \frac{2,55}{0,13(x/x_m)^2 + 9} \quad \text{при} \quad 8 < \frac{x}{x_m} \leq 24; \\
 s'_1 &= \frac{x/x_m}{4,75(x/x_m)^2 - 140x/x_m + 1435} \quad \text{при} \quad 24 < \frac{x}{x_m} < 80; \\
 s'_1 &= \frac{2,26}{0,1(x/x_m)^2 + 7,41x/x_m - 160} \quad \text{при} \quad 24 < \frac{x}{x_m} < 80; \quad F > 1,5; \\
 s'_1 &= \frac{x/x_m}{3,58(x/x_m)^2 - 35,2x/x_m + 120} \quad \text{при} \quad \frac{x}{x_m} > 80; \quad F < 1,5; \\
 s'_1 &= \frac{1}{0,1(x/x_m)^2 + 2,47x/x_m - 178} \quad \text{при} \quad \frac{x}{x_m} > 80; \quad F > 1,5.
 \end{aligned} \tag{3.26}$$

Для расчетов значений s'_1 может быть использована номограмма рис. 3.8. Отвечающая максимуму концентраций скорость ветра u_{mx} рассчитывается по формуле

$$u_{mx} = f_1 u_m, \tag{3.27}$$

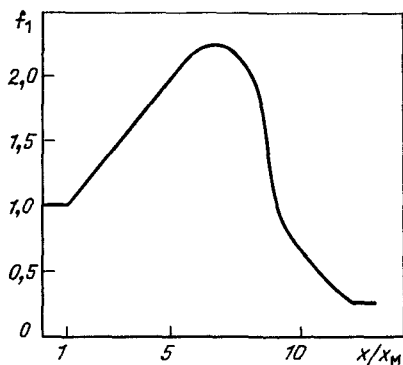


Рис. 3.9. График для определения f_1

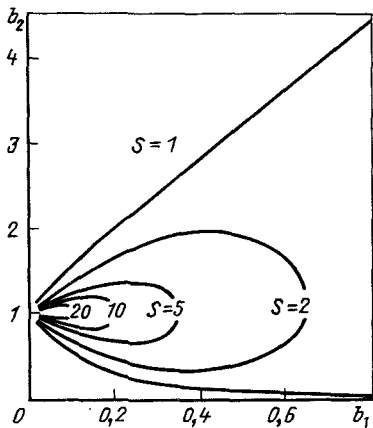


Рис. 3.10. Зависимость S_z от параметров b_1 и b_2

где безразмерный коэффициент f_1 определяется в зависимости от отношения x/x_m по номограмме рис. 3.9 или рассчитывается по формулам

$$\left. \begin{aligned} f_1 &= 1 && \text{при } x/x_m \leq 1; \\ f_1 &= \frac{0,75 + 0,25x/x_m}{1 + (x/9x_m)} && \text{при } 1 < x/x_m \leq 8; \\ f_1 &= 0,25 && \text{при } 8 < x/x_m < 80; \\ f_1 &= 1,0 && \text{при } x/x_m \geq 80. \end{aligned} \right\} \quad (3.28)$$

Если рассчитанная по (3.27) скорость ветра $u_{mx} < 0,5$ м/с или $u_{mx} > u^*$, т. е. большие значения, превышаемого в данной местности в 5% случаев (см. п. 3.2.7), то величина c_{mx} определяется как максимальное значение из концентраций на расстоянии x , рассчитанных при трех скоростях ветра: 0,5 м/с u_m , u^* , соответствующая c_{mx} скорость ветра принимается за u_{mx} .

3.2.11. Поправка s_z , учитывающая размещение реципиентов в высоких зданиях и сооружениях

В современном городе люди проживают и работают в зданиях высотой до 100 м, в связи с чем возникает необходимость рассчитывать не только приземные, но и «приподнятые» концентрации. Расчеты распределения концентраций c_z на разных высотах z (м) над подстилающей поверхностью при $x < x_{mi}$ производят по формуле

$$c_z = c_m f s_1 s_2 s_z. \quad (3.29)$$

Комплекс $c_m f s_1 s_2$ представляет собой концентрацию в приземном слое в точке с координатами x, y . Соответствующие множители вычисляются по изложен-

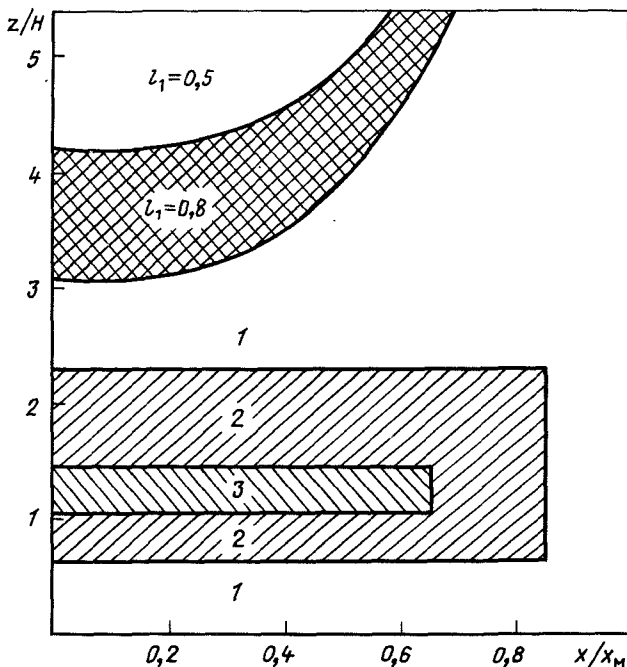


Рис. 3.11. Определение параметра l (цифры на графике) для расчета опасной скорости ветра на высоте z

ным выше правилам (п. 3.2.1; 3.2.7; 3.2.8; 3.2.9). Поправка s_z , учитывающая рост концентрации с высотой строения, вводится только для $x < x_{mu}$, рассчитывается по формуле или берется по графику рис. 3.10:

$$s_z = \frac{[1 + 0,1(b_2 - 1)^2]}{[b_1^3 + 0,1(b_2 - 1)^2]} \left[1 + \frac{(b_2 + 0,2)(b_1^3 - 1)}{b_2 + (b_2 + 0,2)(1 + 0,1(b_2 - 1)^2)} \right]. \quad (3.30)$$

Предварительно вычисляются входящие в последнюю формулу параметры

$$b_1 = x/x_{mu}; \quad (3.31a)$$

$$b_2 = \frac{z}{(1 + 5d_2)H}; \quad (3.31б)$$

$$d_2 = 0,06v_m^3 \sqrt{f}/u + 0,034(v_m/u)^3 \text{ при } f < 100; \quad (3.31в)$$

$$d_2 = 0,28v'_m/u + 0,034(v'_m/u) \text{ при } f \geq 100. \quad (3.31г)$$

При $f_e \leq f < 100$ коэффициент d_2 вычисляется по формуле (3.31в) при $f = f_e$; при $v_m < 0,5$ или $v'_m < 0,5$ соответственно в (3.31в) и (3.31г) принимается $v_m = 0,5$ или $v' = 0,5$.

Опасная скорость ветра u_{mz} (м/с) на уровне флюгера, при которой на высоте z достигается максимальная концентрация, определяется по формуле

$$u_{mz} = l_1 u_m. \quad (3.32)$$

Значения коэффициента l_1 берутся по рис. 3.11 в функции отношения x/x_m или x/x_{mi} .

3.2.12. Расчеты при выбросах газовой воздушной смеси из источника с прямоугольным устьем

Эти расчеты производятся по приведенным выше формулам при средней скорости w_0 и значениях $D = D_0$ (м) и $V_1 = V_{10}$ (м³/с).

Средняя скорость выхода в атмосферу газовой воздушной смеси w_0 (м/с) определяется по формуле $w_0 = V_1 / (Lb)$, где L (м) длина устья; b (м) ширина устья.

Эффективный диаметр устья D_0 (м) определяется по формуле

$$D_0 = 2Lb / (L + b).$$

Эффективный расход выходящей в атмосферу в единицу времени газовой воздушной смеси V_{10} (м³/с) определяется по формуле

$$V_{10} = \pi D_0^2 w_0 / 4. \quad (3.33)$$

Для источников с квадратным устьем ($L = b$) эффективный диаметр D_0 равняется длине стороны квадрата. В остальном расчет рассеивания вредных веществ производится как для выбросов из источника с круглым устьем.

3.2.13. Обратные задачи

По сложившейся в теплоэнергетике традиции все изложенные ранее методы относятся к категории проверочных расчетов, когда параметры источника уже заданы: H , V , ΔT , M и т. д. В процессе подготовки обосновывающих материалов и схем теплоснабжения возникает необходимость решения обратных задач, т. е. поиска M , H и т. д. Мощность горячих ($\Delta T > 0$) выбросов, соответствующая заданному значению максимальной концентрации c_m (мг/м³), определяется по формуле

$$M = \frac{c_m H^2}{A F m n \eta} \sqrt[3]{V_1 \Delta T}. \quad (3.34)$$

Мощность холодных выбросов в случае $f \geq 100$ или $\Delta T \approx 0$

$$M = \frac{c_m H^{4/3} 8 V_1}{A F n \eta D}. \quad (3.35)$$

Высота источника H , соответствующая заданному значению c_m , в случае $\Delta T \approx 0$ определяется по формуле

$$H = \left(\frac{A M F D \eta}{8 V_1 c_m} \right)^{3/4}. \quad (3.36)$$

Если вычисленному по последней формуле значению H соответствует $v'_m < 2$ м/с, то H уточняется методом последовательных приближений по формуле

$$H_{i+1} = H_i (n_i / n_{i-1})^{3/4}, \quad (3.37)$$

где n_i и n_{i-1} — значения определенного по рис. 3.4 или по формулам (3.7) коэффициента n , полученные соответственно по значениям H_i и H_{i-1} [при $i=1$ в формуле (3.37) принимается $n_0=1$, а значение H_i определяется по (3.36)].

Формулы (3.36), (3.37) используются также для определения H при $\Delta T > 0$. Если при этом выполняется условие $H \leq w_0 \sqrt{10D/(\Delta T)}$, то найденное H является точным. Если же $H > w_0 \sqrt{10D/(\Delta T)}$, то для определения предварительного значения высоты H используется формула

$$H = \sqrt{\frac{AMF\eta}{c_m^3 \sqrt{V_1 \Delta T}}}. \quad (3.38)$$

По найденному значению H определяются на основании формул (3.3)–(3.5) величины f , v_m , v'_m и f_e и устанавливается в первом приближении произведение коэффициентов m и n . Дальнейшие уточнения значения H выполняются по формуле

$$H_{i+1} = H_i \sqrt{\frac{m_i n_i}{m_{i-1} n_{i-1}}}, \quad (3.39)$$

где m_i, n_i соответствуют H_i , а $m_{i-1}, n_{i-1} = H_{i-1}$ [при $i=1$ принимается $m_0=n_0=1$, а H_0 определяется по (3.38)].

Уточнение значения H по формулам (3.37) и (3.39) производится до тех пор, пока два последовательно найденных значения H (H_i и H_{i+1}) будут различаться менее чем на 1 м.

При одновременной необходимости учета влияния рельефа местности и застройки в формулах (3.34)–(3.36) и (3.38) за величину η принимается произведение поправок к максимальной концентрации на рельеф и застройку.

3.2.14. Основные символы и определения

Завершая раздел о методах подсчета концентраций, обусловленных единичным точечным объектом, для удобства пользователя приведем основные символы и определения в их увязке с координатой местности (рис. 3.12).

Кривые над осью x показывают ход приземных концентраций при опасной 1 и отличающейся от нее 2 скоростях ветра; c_m и c_{mi} — максимумы кривых концентраций при опасной u_m и отличающейся от нее скорости ветра u ; x_m и x_{mi} — координаты максимумов концентраций при опасной и отличающейся от нее скорости ветра. Изменение концентраций в направлении y представлено кривыми 3 и 4 для $x=x_m$ и x_1 ; c_y — концентрация в точке с координатами x, y .

3.3. Загрязнение атмосферы выбросами линейных источников

Под линейными источниками применительно к теплоэнергетике мы понимаем вентиляционные выбросы через фонари и иные проемы, расположенные вдоль цехов, например котельных (рис. 3.13). В котлах, работающих под наддувом, эти выбросы содержат все компоненты дымовых газов на уровне ПДК рабочей зоны и выше [8]. Компоненты дымовых газов

Рис. 3.12. Принципиальная схема поля концентраций и принятых обозначений

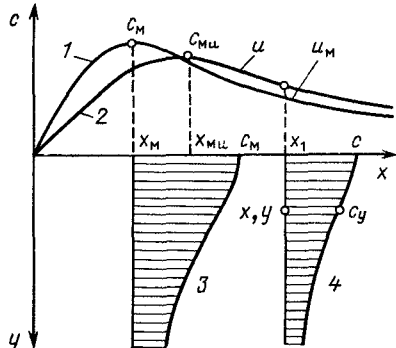
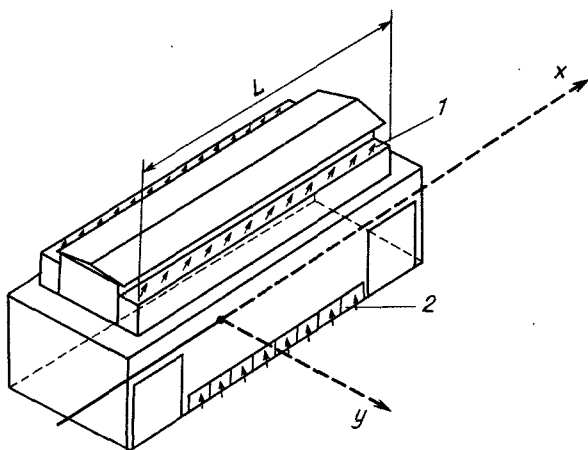


Рис. 3.13. Схема линейного источника в форме цеха: 1 - аэрационные фонари; 2 - воздухозабор



появляются в вентиляционных выбросах и при нарушениях правил технической эксплуатации котлов. Линейным источником углеводородов и угольной пыли являются эстакады по разгрузке мазута, масел и угля. Для линейного источника длиной L наибольшая концентрация токсичной или любой другой примеси c_M достигается при ветре вдоль источника на расстоянии x_M от проекции его центра на земную поверхность. При рассмотрении аэрационных фонарей как линейного источника c_M и x_M определяются по формулам

$$c_M = s_3 c'_M; \quad (3.40)$$

$$x_M = L/2 + s_4 x'_M. \quad (3.41)$$

Здесь значения c'_M и x'_M , а также соответствующее им значение u'_M принимаются равными максимальной концентрации c_M , расстоянию x_M и опасной скорости u_M для одиночного источника той же мощности M с круглым устьем диаметром D , и расходом выбрасываемой газовой смеси V_1 . При этом эффективный диаметр устья фонаря D_3 (м) определяется по формуле

$$D_3 = 2LV_1 / (L^2 w_0 + V_1), \quad (3.42)$$

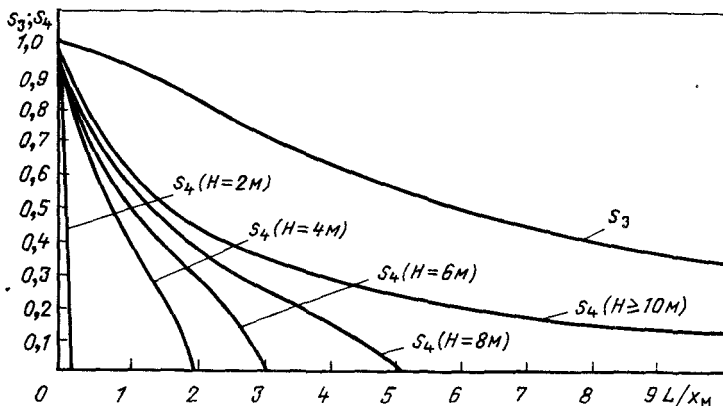


Рис. 3.14. График для определения коэффициентов рассеивания от линейного источника

где V_1 (м³/с) – расход выбрасываемой из фонаря в единицу времени газозвушной смеси; w_0 (м/с) – средняя скорость выхода из фонаря газозвушной смеси. Величина V_1 , определяется по найденному значению D , и формуле

$$V_{1,3} = \pi D^2 w_0 / 4. \quad (3.43)$$

За высоту источника выброса H (м) принимается высота над уровнем земли верхней кромки ветроотбойных щитов фонаря или верхней кромки фонаря при отсутствии ветроотбойных щитов. Средняя скорость выхода в атмосферу газозвушной смеси из аэрационного фонаря w_0 (м/с) определяется экспериментальным путем или по расчету аэрации. Масса выбрасываемого в атмосферу в единицу времени вредного вещества M (г/с) принимается равной суммарному выбросу из всего фонаря. Величина ΔT (°C) принимается такой же, как для одиночного источника выброса.

Безразмерные коэффициенты s_3 и s_4 определяются в зависимости от отношения L/x_m по рис. 3.14 или по формулам

$$s_3 = \frac{1 + 0,45 L / x'_m}{1 + 0,45 L / x'_m + 0,1 (L / x'_m)^2}; \quad (3.44)$$

$$s_4 = \frac{1}{1 + 0,6 L / x'_m}. \quad (3.45)$$

Опасная скорость ветра u_m определяется по формуле

$$u_m = u'_m. \quad (3.46)$$

Распределение концентраций вредных веществ на расстоянии от центра аэрационного фонаря при ветре, направленном вдоль или поперек фонаря, рассчитывается по формулам [2].

При произвольном направлении ветра по отношению к линейному источнику типа аэрационного фонаря этот источник условно представляется

в виде группы N одинаковых равноудаленных точечных источников. Для каждого из этих одинаковых источников значения максимальной концентрации вредной примеси c_m и соответствующих ей расстояния x_m и опасной скорости u_m определяются как

$$c_m = c'_m / N. \quad (3.47)$$

Расчеты концентраций по формулам данного раздела производятся для расстояний от производственного корпуса, больших x'_m . Для расстояний меньших x'_m , необходимо учитывать влияние здания, на котором расположен фонарь [2].

Число одинаковых равноудаленных одиночных источников N , на которое делится аэрационный фонарь при расчетах, определяется (с округлением до ближайшего большего целого числа) по формуле

$$N = 5L \sqrt{u/x}, \quad (3.48)$$

где x (м) — наименьшее расстояние от аэрационного фонаря до расчетной точки на местности; u — расчетная скорость ветра.

С увеличением протяженности L аэрационного фонаря N увеличивается, но, как правило, достаточно принимать N не более 10.

При расчетах загрязнения атмосферы для скорости ветра u , не равной u_m , для каждого из одиночных источников значение максимальной концентрации вредных веществ c_{mu} (мг/м³) определяется по формуле

$$c_{mu} = r c'_m / N, \quad (3.49)$$

а соответствующее расстояние x_{mu} (м) — по формуле

$$x_{mu} = p x'_m. \quad (3.50)$$

Здесь r и p — безразмерные коэффициенты, определяемые в соответствии с п. 3.2.7 по значению отношения u/u_m .

Расчеты приземных концентраций от линейного источника, аппроксимирующего совокупность одиночных источников выброса с близкими значениями высот, выполняются по тем же формулам, что и для аэрационного фонаря, но при расчете вспомогательных величин c'_m , x'_m и u'_m вместо D , и V_1 , используются средние значения D и V_1 , характерные для одиночных источников.

При ветре, перпендикулярном линейному источнику, или при произвольном направлении ветра вычисления основываются на замене линейного источника совокупностью одинаковых равноудаленных условных точечных источников.

При ветре вдоль линейного источника значения максимальной концентрации c_m , расстояния x_m и опасной скорости ветра u_m определяются по формулам (3.40), (3.41) и (3.46) с использованием формул (3.44), (3.45) или рис. 3.14.

Распределение концентраций вредных веществ c на расстоянии x от центра линейного источника длиной L при ветре, направленном вдоль этого источника, в случае, когда скорость ветра равна u_m , определяется по формуле

$$c = (s'_5 - s''_5) x'_m c'_m / L, \quad (3.51)$$

где s'_5 и s''_5 — безразмерные коэффициенты, определяемые по графику для s_5 на рис. 3.15 в зависимости от отношений $(2x+L)/(2x'_m)$ и $(2x-L)/(2x'_m)$ соответственно, причем по пунктирной линии в случае тяжелой примеси. Здесь значения c'_m , x'_m определяются согласно (3.39) и (3.40).

При высотах источника H меньше 10 м безразмерный коэффициент s_5 заменяется на безразмерный коэффициент s_5^H :

$$s_5^H(t) = 0,125(H-2) + 0,125(10-H) \text{ при } t \leq 1; \quad (3.52a)$$

$$s_5^H(t) = s_5(t) + 0,125(10-H)[1-s_5(t)] \text{ при } t > 1, \quad (3.52b)$$

где s_5 определяется по тому же аргументу t (рис. 3.15).

При скорости ветра $u \neq u_m$ значение c определяется по формуле

$$c = pr(s'_5 - s''_5)x'_m c'_m / L, \quad (3.53)$$

где r и p определяются в соответствии с п. 3.2.7 и по значению u/u_m , а s'_5 и s''_5 — соответственно по $(2x+L)/(2px'_m)$ и $(2x-L)/(2px'_m)$.

Значение максимальной концентрации вредных веществ при ветре, направленном поперек линейного источника, определяется по формуле

$$c_m = \varepsilon_1 c'_m. \quad (3.54)$$

Здесь безразмерный коэффициент ε_1 определяется по формулам

$$\varepsilon_1 = 0,923\alpha \text{ при } \alpha \leq 0,255; \quad (3.55a)$$

$$\varepsilon_1 = 1,13\alpha^2 / (\alpha + 0,3)^2 \text{ при } 0,255 < \alpha \leq 2,32; \quad (3.55b)$$

$$\varepsilon_1 = \alpha^2 / (\alpha^2 + 0,7) \text{ при } \alpha > 2,32; \quad (3.55b)$$

$$\alpha = x'_m / (L \sqrt{u'_m}) \text{ при } u'_m \leq 5; \quad (3.56a)$$

$$\alpha = 45x'_m / L \text{ при } u'_m > 5. \quad (3.56b)$$

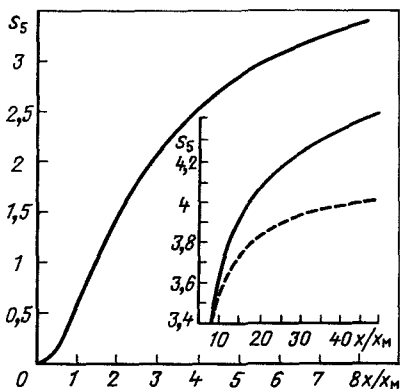


Рис. 3.15. Коэффициенты, учитывающие удаление от линейного источника:

— — легкая примесь; — — — — — тяжелая примесь

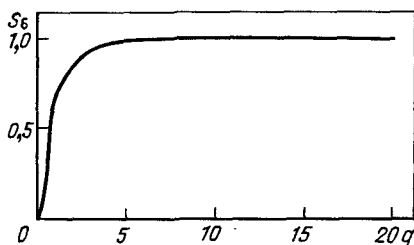


Рис. 3.16. Поправочный коэффициент для линейного источника

Расстояние от линейного источника x_m , на котором достигается максимальная приземная концентрация вредных веществ c_m , определяется по формуле

$$x_m = \varepsilon_2 x'_m; \quad (3.57)$$

$$\varepsilon_2 = 3 \text{ при } \alpha \leq 0,25; \quad (3.58a)$$

$$\varepsilon_2 = 1,5/\sqrt{\alpha} \text{ при } 0,25 < \alpha < 2,25; \quad (3.58b)$$

$$\varepsilon_2 = 1 \text{ при } \alpha > 2,25. \quad (3.58b)$$

Распределение концентраций вредных веществ c (мг/м^3) на расстоянии x (м) от центра линейного источника при ветре скоростью u (м/с), направленном поперек линейного источника, определяется по формуле

$$c = s_1 s_6 r c'_m. \quad (3.59)$$

При расчетах начало координат располагается в центре линейного источника, ось x направлена вдоль, а ось y - перпендикулярно направлению ветра.

Концентрация вредных веществ c_y (мг/м^3) на расстоянии y (м) от оси факела определяется по формуле

$$c_y = \frac{r s_1}{2} \left[\left(1 + \frac{2y}{L} \right) s'_6 + \left(1 - \frac{2y}{L} \right) s''_6 \right] c'_m. \quad (3.60)$$

Здесь s_1 - безразмерный коэффициент, определяемый в соответствии с п. 3.2.8 по значению отношения $x/p x'_m$; r, p - безразмерные коэффициенты, определяемые в соответствии с п. 3.2.7 по значению отношения u/u'_m ; s_6, s'_6, s''_6 - безразмерные коэффициенты, определяемые по рис. 3.16 в зависимости от значений L (м), $(2y+L)$ (м) и $(2y-L)$ (м), используемых при вычислении аргумента g , или по формуле

$$s_6 = 0,57 g \left[1 - \frac{1}{(1 + 0,44/g + 0,58/g^2 + 0,49/g^4)^4} \right]; \quad (3.61)$$

$$g = x/L \sqrt{u} \text{ при } u \leq 5; \quad (3.62a)$$

$$g = 0,45 x/L \text{ при } u > 5. \quad (3.62b)$$

Для $g > 6,74$ функция $s_6 = 1$.

Примечание.

1. На достаточно большом расстоянии от линейного источника, которому соответствует безразмерный коэффициент s_6 , близкий к единице, линейный источник может рассматриваться как одиночный точечный источник с $c_m = c'_m$, $x_m = x'_m$ и $u_m = u'_m$.

2. Если расчетной точке соответствует определенное по формуле (3.48) значение $N > 10$, то линейный источник представляется в виде суммы нескольких меньших по размеру линейных источников таким образом, чтобы выделить участки линейного источника, для которых $N \leq 10$. Оставшиеся линейные источники делятся на равноудаленные точечные источники так, чтобы расстояние между ними не превышало $2x'_m$.

Мощность выброса M , соответствующая заданному значению максимальной концентрации c_m , для случая выбросов от одиночного аэрационного фонаря определяется по формуле

$$M = M_0 / s_3, \quad (3.63)$$

где M_0 как соответствующая c_m мощность выброса из одиночного источника находится по формуле (3.33) или (3.34) при $V_1 = V_1$, и $D = D_1$, определяемым по (3.43) и (3.42).

3.4. ВНЕСЕНИЕ ПОПРАВОК, УЧИТЫВАЮЩИХ ВЛИЯНИЕ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ НА ПРИЗЕМНУЮ КОНЦЕНТРАЦИЮ РАССЕИВАЕМОГО ВЕЩЕСТВА

Базовые формулы (3.1) были выведены для равнинного ландшафта $\eta = 1$. Ниже приводятся поправки, позволяющие учесть особенности рельефа, допускающие типизацию (рис. 3.17). Наиболее распространенным случаем является размещение ТЭС на высоком или пойменном берегу реки с перепадом высот h_0 . Если источник (ТЭС) размещен на нижнем уступе, повышение приземных концентраций обуславливается торможением воздушного потока и совпадает с откосом. Размещение ТЭС на верхнем уступе эквивалентно большей высоте трубы и несколько снижает концентрацию на нижнем. Следует предостеречь от геометрического сложения H и h_0 , так как степень реального влияния на концентрации значительно слабее. Не менее распространены углубления типа каньона с протекающей внизу рекой или без нее. К этой категории можно отнести котлованы от выработки открытым способом. Над такими выемками концентрации возрастают. Гряды или горный кряж на пути факела дают повышение концентрации на обоих склонах. Надо иметь в виду, что при современных трубах высотой более 300 м под термин «гряда» попадают горы высотой более 500 м.

Все описанные препятствия предполагаются единственными и вытянутыми в одном направлении, а расчеты применимы к случаю, когда факел перпендикулярен оси препятствия.

Поправка на рельеф вводится, если описанные выше препятствия удалены от ТЭС не более чем на 50 высот труб, но не менее 2 км. Местность считается ровной и поправка на рельеф не вводится ($\eta = 1$), если перепад высот не превышает 50 м на 1 км.

Поправочный коэффициент на рельеф рассчитывается по формуле

$$\eta = 1 + \varphi \eta_m, \quad (3.64)$$

где η_m определяется по табл. 3.3 в зависимости от форм рельефов, представленных на рис. 3.17, и безразмерных величин $n_1 = H/h_0$ и $n_2 = a_0/h_0$. В формулах: H — высота источника; h_0 — высота или глубина препятствия; a_0 — полуширина гряды, гребня, ложбины или протяженность бокового склона уступа; x_0 — расстояние от середины препятствия в случае гряды или ложбины и от верхней кромки склона в случае уступа до источника, как указано на рис. 3.17.

По своему физическому смыслу η_m является коэффициентом, учитывающим пропорции между высотой трубы и размерами препятствия. В отличие от

предыдущего коэффициент φ учитывает форму препятствия и определяется из графиков рис. 3.17 как функция отношения x_0/a . Для случая, когда источник размещен на верхней террасе, т. е. $x_0 < 0$, имеем $\varphi < 0$.

Если препятствия представляют собой гряды или ложбину, вытянутые в одном направлении, параметры h_0 и a_0 определяются для поперечного сечения, перпендикулярного этому направлению. Если изолированное препятствие — отдельный холм или впадина, то h_0 выбирается соответствующим

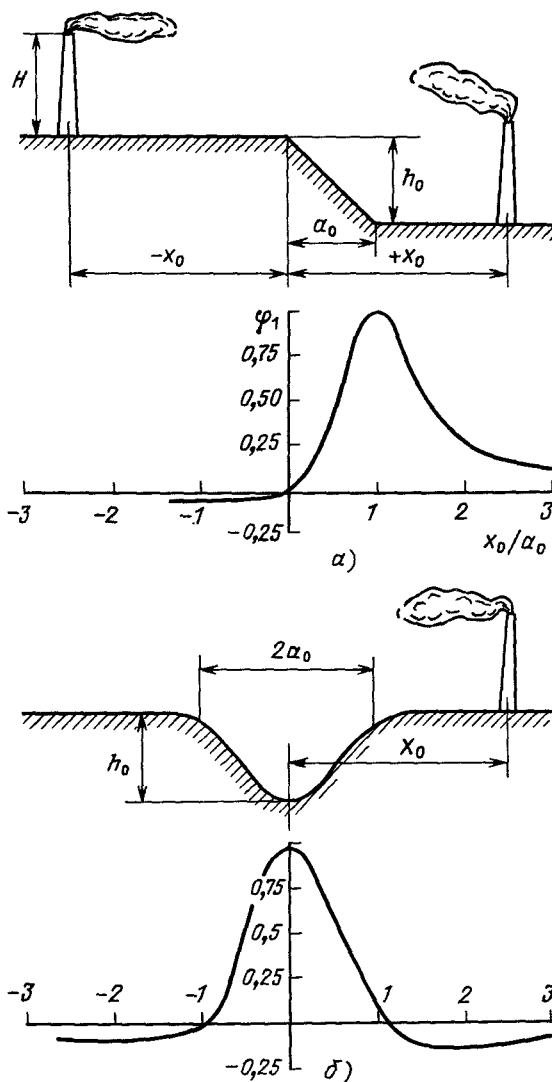


Рис. 3.17. Типичные формы рельефа местности и обусловленные ими изменения

максимальной (минимальной) отметке препятствия, а n_2 — максимальной крутизне склона, обращенного к источнику.

Таблица 3.3. Поправочный коэффициент на форму рельефа

n_1	n_2											
	Ложбина (впадина)				Уступ				Гребень (холм)			
	4-5	6-9	10-15	16-20	4-5	6-9	10-15	16-20	4-5	6-9	10-15	16-20
0,5	13	1	0,6	0,3	2,5	0,8	0,5	0,2	2	0,5	0,4	0,2
0,6-1	2	0,6	0,5	0,2	1,7	0,5	0,3	0,2	1,2	0,4	0,3	0
1,1-2,9	0,8	0,5	0,4	0,1	0,6	0,4	0,2	0,1	0,4	0,3	0,2	0
3-5	0,4	0,3	0,2	0	0,3	0,2	0,1	0	0,2	0,2	0,1	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

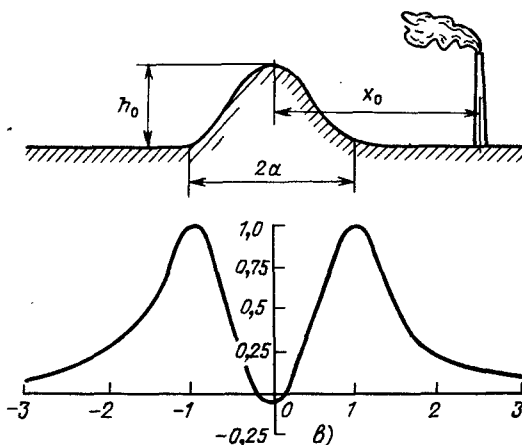
Для источников выброса, в зоне влияния которых расположено несколько изолированных препятствий, следует определить поправочные коэффициенты η для каждого отдельного препятствия и использовать в расчете максимальное значение.

В случае более сложного рельефа местности или перепадов высот более 250 м на 1 км за указаниями по учету рельефа следует обращаться в территориальные органы Госкомгидромета и Главную геофизическую обсерваторию им. А. И. Воейкова.

Описанные выше аномалии рельефа местности изменяют расстояние от дымовой трубы до точки, в которой достигается максимальное значение концентраций c_m , на коэффициент

$$K = \frac{1,1}{\sqrt{\eta + 0,2}}, \quad (3.65)$$

который и надлежит вводить в (3.10).



приземных концентраций

Приземные концентрации на произвольных расстояниях от источника определяются в зависимости от параметра

$$P = 6,2 x_m^0 \sqrt{\eta - 1}, \quad (3.66)$$

где x_m^0 — значение x_m для рассматриваемого источника в условиях ровной или слабопересеченной подстилающей поверхности, т. е. при $\eta = 1$.

Для больших удалений, когда $x > P$, поправка на рельеф не вносится. При малых удалениях, $x < P$, значение аргумента x/x_m в графиках для определения s_1 подсчитывается с учетом поправки (3.65).

При скоростях ветра, отличных от опасной, расчеты приземных концентраций производятся по вышеизложенной схеме, где вместо x_m^0 в (3.66) используется значение $x_{mш}^0$, определенное для равнинного ландшафта.

Если источник выбросов располагается в долине шириной $L_{дл}$ и его высота меньше $2/3$ глубины долины, то расчеты подфакельных концентраций по формуле (3.19) для направлений ветра вдоль долины производятся до расстояний x , удовлетворяющих условию

$$x < L_{дл} \sqrt{u}. \quad (3.67)$$

Для больших расстояний функция s_1 умножается на $\sqrt{x/(L_{дл} \sqrt{u})}$.

В районах, где может происходить длительный застой примеси при сочетании слабых ветров с температурными инверсиями, как, например, в глубоких котловинах, в районах частого образования туманов, ниже плотин гидроэлектрических станций и вблизи прудов-охладителей ГРЭС в районах с суровой зимой, а также в районах возможного возникновения смогов не следует размещать промышленные предприятия со значительными выбросами. При необходимости строительства в таких районах следует принимать дополнительные меры по сокращению токсичных выбросов в воздушный бассейн, которые должны быть согласованы с Госкомгидрометом. Очевидно, что в этом случае затраты на глубокую очистку выбросов должны быть ниже, чем стоимость коммуникаций, инфраструктур и других сооружений при выносе предприятия за пределы экологически тяжелого района.

3.5. ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ВЫБРОСАМИ ГРУППЫ ИСТОЧНИКОВ И ПЛОЩАДНЫХ ИСТОЧНИКОВ

3.5.1. Приземная концентрация вредного вещества

В любой точке местности при наличии N источников эта концентрация определяется как сумма концентраций индивидуальных вредных веществ в этой точке от отдельных источников при заданном направлении и скорости ветра

$$c = \sum_{i=1}^N c_i, \quad (3.68)$$

где c_i — концентрация вредного вещества, обусловленная выбросами i -го источника (мг/м^3), являющимися наветренными при расчетном направлении ветра.

При проектировании предприятий, зданий и сооружений следует минимизировать число выбрасывающих вредные вещества устройств, объединяя удаляемые вредности в одну дымовую трубу или вентиляционную шахту. В случаях, когда в городе или промышленном районе имеются многочисленные мелкие трудно учитываемые и контролируемые источники, как, например, транспортные двигатели, мелкие отопительные печи, они учитываются так называемой фоновой концентрацией c_{Φ} .

$$c = \sum_1^N c_i + c_{\Phi}. \quad (3.69)$$

Фоновая концентрация обычно определяется экспериментально, о чем будет написано ниже. Если рассчитанная по формуле (3.68) концентрация c удовлетворяет неравенству $c > 0,1 q_0$, где

$$q_0 = 10^3 \sum_1^N M_i c_i / \left(\sum_1^N V_{1i} c_i \right), \quad (3.70)$$

M_i и V_{1i} — мощность выброса (г/с) и объем газовой смеси для i -го источника, то вместо (3.68) расчет ведут по формуле

$$c = q_0 \sum_1^N c_i / \left(q_0 + \sum_1^N c_i \right). \quad (3.71)$$

Как и для одиночного источника, при расчетах загрязнения воздуха выбросами группы источников принимается наиболее неблагоприятное сочетание M_i и V_{1i} .

3.5.2. Объединение мелких источников

В целях упрощения и ускорения расчетов загрязнений атмосферы веществами следует, по возможности, сокращать количество рассматриваемых источников путем объединения их, особенно мелких, в объединенные условные источники с соответствующим образом обобщенными параметрами выброса. При этом в расчеты загрязнения атмосферы вносится некоторая относительная погрешность δ , оцениваемая в 25% (0,25).

В случае использования машинного (ориентированного на применение ЭВМ) алгоритма объединения группы из N точечных источников формулы, по которым определяется максимальная концентрация от объединяемых источников ($c_m = c_{m0}$, $x_m = x_{m0}$, $u_m = u_{m0}$, $x_u = x_{u0}$, $y_u = y_{u0}$), для условного источника, заменяющего объединяемую группу, имеют вид

$$c_{m0} = \sum_{i=1}^N c_{mi}; \quad (3.72)$$

$$x_{m0} = \frac{1}{c_{m0}} \sum_{i=1}^N c_{mi} x_{mi}; \quad (3.73)$$

$$u_{m0} = \frac{1}{c_{m0}} \sum_{i=1}^N c_{mi} u_{mi}; \quad (3.74)$$

$$x_{u0} = \frac{1}{c_{m0}} \sum_{i=1}^N c_{mi} x_{ui}; \quad (3.75)$$

$$y_{u0} = \frac{1}{c_{m0}} \sum_{i=1}^N c_{mi} y_{ui}. \quad (3.76)$$

Здесь индексом i при символах c_m , x_m , u_m , а также при координатах x_u , y_u обозначены объединяемые в группу первичные источники.

Если рассматриваются мелкие источники, для каждого из которых выполняется хотя бы одно из нижеприведенных условий

$$\frac{c_m}{\text{ПДК}} \leq 0,2; \quad (3.77)$$

$$\frac{c_m x_m}{\text{ПДК}} \leq 120, \quad (3.78)$$

то объединение таких источников возможно при выполнении следующих неравенств:

$$L_m \leq 0,15 l_{\min}; \quad (3.79)$$

$$\frac{\Delta x_m}{x_{m0}} \leq 0,3; \quad (3.80)$$

$$\frac{\Delta u_m}{u_{m0}} \leq 0,3, \quad (3.81)$$

где $l_{\min}$ - минимальное расстояние от объединяемых источников до узлов расчетной сетки точек, м; L_m - максимальное расстояние между двумя из объединяемых источников, м; Δx_m и Δu_m - соответственно максимальные отклонения величин x_{mi} от x_{m0} и u_{mi} от u_{m0} (м/с).

Если для каждого объединяемого источника условия (3.77) и (3.78) одновременно не выполняются, то объединение таких источников возможно при одновременном выполнении условий

$$L_m \leq 0,06 l_{\min}; \quad (3.82)$$

$$\frac{\Delta x_m}{x_{m0}} \leq 0,09; \quad (3.83)$$

$$\frac{\Delta u_m}{u_{m0}} \leq 0,3. \quad (3.84)$$

При равенстве нулю Δx_m и Δu_m числовой коэффициент в (3.79) и (3.82) следует увеличить в 1,7 раза; в 1,7 раза увеличивается также числовой коэффициент в (3.80) и (3.83) при одинаковых u_{mi} и $L_m < H$, а также в (3.81) и (3.84) при одинаковых x_{mi} и $L_m < H$. При невыполнении для группы мелких источников условий (3.79) - (3.81) или невыполнении для группы более крупных источников условий (3.82) - (3.84) эта группа разбивается на отдельные более мелкие группы, для которых указанные неравенства выполняются.

Методика расчетов [2] дает следующие разъяснения о приемах и размерах объединения источников:

1. При сведении в одну точку источников выбросов с одинаковыми величинами H , D , V_1 и ΔT значение расчетной максимальной концентрации вредного вещества c_m от этой группы источников несколько завышается. Если в одну точку сводятся источники с различными H , D , V_1 и ΔT , то возможно как небольшое завышение, так и некоторое занижение c_m . С удалением от объединяемых источников погрешность за счет сведения группы источников в одну точку убывает.

2. Источники загрязнения атмосферы, для которых принятие при расчетах одинаковых координат не сказывается заметно на значениях c_m , называются близко расположенными друг к другу.

3. Результаты точных расчетов загрязнения атмосферы вредными веществами не допускается корректировать по результатам приближенных расчетов с объединением источников.

4. При отсутствии возможности применения ЭВМ для расчетов по (3.72) - (3.76) с учетом критериев (3.77) - (3.84) допускается проводить объединение источников выброса с близкими параметрами и координатами расположения вручную. При этом для условного объединенного источника принимаются значения суммарного выброса M от всех объединяемых источников и среднее арифметическое значение высоты H , значение диаметра устья D , T , температуры и скорости выхода w_0 газовой смеси из устья источника, а также координат источников x_m , y_m . При большом разбросе указанных параметров и координат группа источников разбивается на ряд более мелких групп с более близкими значениями параметров и координат. Большой разброс значений выброса M не препятствует объединению.

5. Если расчеты загрязнения атмосферы выполняются для участков местности, прилегающих к промплощадке, то под $l_{\min}$ следует понимать минимум из расстояний от каждого из объединяемых источников до ближайшей к нему границы промплощадки.

6. В единый условный источник прежде всего объединяются группы примерно одинаковых вентиляционных шахт одного производственного здания или изолированного по воздухообмену производственного помещения, а также близко расположенные группы источников однотипных технологических установок на открытом воздухе и т. п. Если имеется несколько групп однотипных источников, то рекомендуется сначала свести к одному источнику каждую из этих групп, а затем проработать возможности дальнейшего объединения источников.

7. Для аэрационных фонарей перед принятием решения об их сведении (в том числе совместно с точечными источниками) в один условный точечный источник вычисляются эффективные диаметр устья D , и объем выбрасываемой газовой смеси V_{13} , по значениям которых после этого определяются $c_{m0} = c'_m$, $x_{m0} = x'_m$ и $u_{m0} = u'_m$.

8. Изложенный алгоритм объединения источников применим и для комбинации веществ с суммирующимся вредным действием. В этом случае для каждого ($i=10$) источника вычисляется мощность выброса, приведенная по токсичности к массе выброса одного из ингредиентов.

3.5.3. Объединение идентичных труб ТЭС

Тепловые электростанции и котельные в ряде случаев имеют несколько (N) дымовых труб равных высоты и диаметра, а также равных расходов и температур уходящих газов. В этом случае максимальная приземная концентрация рассчитывается по формуле

$$c_m = \frac{AMFm\eta}{H^2} \sqrt[3]{\frac{N}{V\Delta T}}, \quad (3.85)$$

где M (г/с) — суммарная мощность выброса всеми источниками в атмосферу; V (м³/с) суммарный расход выбрасываемой газовой воздушной смеси всеми и единичными источниками.

Подразумевается, что $V = V_1 N$.

Значение параметра v_m , по которому в дальнейшем определяется опасная скорость ветра (3.4), рассчитывается по формуле

$$v_m = 0.65 \sqrt[3]{V\Delta T / (NH)}. \quad (3.86)$$

В остальном схема расчета концентраций веществ, обусловленных выбросами от группы близко расположенных друг к другу одинаковых одиночных источников выброса, не отличается от приведенной в разд. 3 схемы расчета для одиночного источника.

3.5.4. Объединение идентичных холодных источников

В большинстве случаев это вентиляционные выбросы, в том числе от градирен. Расчет концентраций веществ, обусловленных выбросами из близко расположенных друг к другу одинаковых источников, когда $\Delta T \approx 0$ или значение параметра $f \geq 100$, производится с использованием формул разд. 3 для одиночного источника со следующими изменениями: $V_1 = V/N$; M — суммарная мощность выброса из всех источников; тогда формула (3.8) преобразуется к виду

$$K = \frac{ND}{8V} = \frac{1}{7.1} \sqrt{\frac{N}{w_0 V}}. \quad (3.87)$$

3.5.5. Многоствольные дымовые трубы

После 1970 г. в энергетике начали применять многоствольные дымовые трубы, представляющие собой три-четыре стальных газоотводящих канала, вписанных в общую железобетонную оболочку. Каждый канал принадлежит к единичному энергоблоку и имеет соответствующий нагрузке этого блока расход газов.

По аэродинамике факела многоствольная труба приближается к одноствольной с суммарным расходом дымовых газов.

Значение максимальной приземной концентрации вредных веществ c_m (мг/м³) при выбросах через многоствольную трубу (N стволов) рассчитывается по формуле

$$c_m = c_m'' + d_1 (c_m' - c_m''). \quad (3.88)$$

Расстояние x_m (м), на котором достигается максимальная концентрация c_m , определяется по формуле

$$x_m = x_m'' + d_1 (x_m' - x_m''). \quad (3.89)$$

Опасная скорость ветра u_m (м/с) вычисляется следующим образом:

$$u_m = u_m'' + d_1 (u_m' - u_m''). \quad (3.90)$$

Здесь c_m' (мг/м³) — максимальная приземная концентрация, определяется по (3.1) при значениях параметров выброса для одного ствола и мощности выброса M (г/с), равной суммарной мощности выброса из всех стволов; x_m' и u_m' — соответственно расстояние, на котором наблюдается максимальная концентрация вредных веществ c_m (мг/м³), и опасная скорость ветра u_m (м/с), определяемые по формулам (3.10) — (3.14) при параметрах выброса для одного ствола; c_m'' (мг/м³) — максимальная приземная концентрация, рассчитываемая по (3.1) при мощности M (г/с), равной суммарной мощности выброса из всех стволов, диаметре D , равном эффективному диаметру источника выброса D_3 (м), который определяется по формуле

$$D_3 = D \sqrt{N}. \quad (3.91)$$

Расход выходящей газовой смеси V_1 равен эффективному расходу V_{13} (м³/с), вычисленному по формуле

$$V_{13} = \pi D_3^2 w_0 / 4; \quad (3.92)$$

x_m'' — расстояние, соответствующее максимальной концентрации c_m'' (мг/м³); u_m'' — опасная скорость ветра, определяемые по формулам (3.10)–(3.14) с учетом $D = D_3$, $V_1 = V_{13}$; d_1 — безразмерный коэффициент, определяемый по формуле

$$d_1 = (l - D) / (d_2 H - D), \quad (3.93)$$

где l (м) — среднее расстояние между центрами устьев стволов; D (м) — диаметр устья ствола; d_2 — безразмерный коэффициент, определяемый по формулам (3.31в), (3.31г).

В остальном расчет производится, как для одиночного источника выброса. При $l \geq d_2 H$ для многоствольной трубы в расчетах принимается: $c_m = c_m'$, $x_m = x_m'$, $u_m = u_m'$.

Если многоствольная труба представляет собой трубу, разделенную на секторы, т. е. состоит из стволов секторной формы, то расчеты выполняются так же, как для одноствольной трубы при $D = D_3$ и $V_1 = V_{13}$, (3.80), где

$$D_3 = \sqrt{4s/\pi}. \quad (3.94)$$

Здесь s — суммарная площадь устьев всех действующих стволов.

В случае, когда температура T_1 и скорость выхода w_0 газовой смеси для отдельных стволов различаются между собой, для расчетов принимаются их средневзвешенные значения, полученные с учетом расходов газовой смеси для отдельных стволов.

К площадным источникам ТЭС относятся открытые поверхности испаряющихся жидкостей, например мазута или масел, пылящие золоотвалы и угольные склады. В интересах сокращения объема вычислительных работ к площадным источникам условно приравнивают совокупность большого числа идентичных источников, как, например, трубы печного отопления, скопления автотранспорта и т. п.

Группы точечных источников объединяются в площадной источник при достаточно равномерном распределении источников по площади и при условии близости таких параметров выброса, как высота H и диаметр устья D источников, температура T_r и скорость выхода w_0 газозвушной смеси из устья источников. При большом разбросе указанных параметров группа источников представляется несколькими площадными источниками с более близкими значениями этих параметров. Критерием возможности представления группы одиночных источников площадным источником является соблюдение неравенств (3.80), (3.81) при выполнении для каждого источника условия (3.77) или (3.78), неравенств (3.83), (3.84) при невыполнении для каждого точечного источника условий (3.77) и (3.78).

При ветре, направленном перпендикулярно одной из сторон площадного источника прямоугольной формы, концентрация (как на территории самого источника, так и за его пределами) рассчитывается по формулам

$$\left. \begin{aligned} c &= \frac{c_m''}{2L'} \{ g_7 [s_7(g_1, g_5) - s_7(g_1 - g_3, g_5)] + \\ &+ g_8 [s_7'(g_1, g_6) - s_7'(g_1 - g_3, g_6)] \}; \\ g_1 &= x/x_m''; \quad g_2 = y/x_m''; \quad g_3 = L_2/x_m''; \\ g_4 &= L'/x_m''; \quad g_5 = \frac{1}{u_m(2g_2 + g_4)^2}; \end{aligned} \right\} \quad (3.95)$$

$$g_6 = \frac{1}{u_m(2g_2 - g_4)^2}; \quad g_7 = 1 + \frac{2g_2}{g_4}; \quad g_8 = 1 - \frac{2g_2}{g_4}. \quad (3.96)$$

где x и y - координаты расчетной точки в системе координат с началом в середине наветренного края источника; x_m'' - расстояние от одиночного входящего в рассматриваемую совокупность точечного источника, на котором при опасной скорости ветра $u_m = u_m''$ достигается максимальная концентрация; c_m'' - максимальная концентрация от одиночного точечного источника, которая имела бы место в том случае, если бы его выбросы равнялись полному выбросу M от площадного источника; L' - меньшее из значений x и L_2 ; L_1 и L_2 - протяженности площадного источника соответственно поперек и вдоль ветра; безразмерный коэффициент $s_7(t_1, t_2)$ определяется по рис. 3.18 (сплошные линии относятся к легкой, пунктирные - к тяжелой примеси).

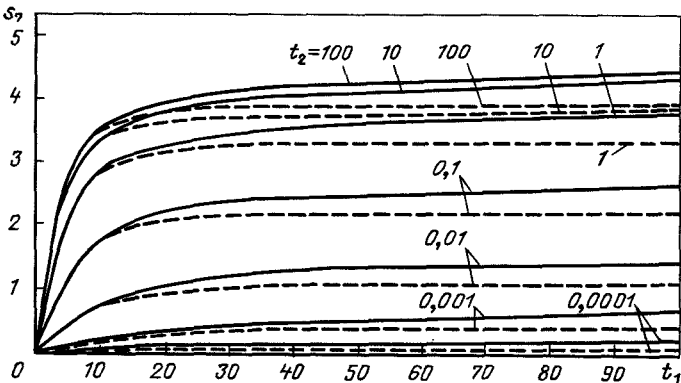


Рис. 3.18. Коэффициент, учитывающий рассеивание выбросов с площадных источников

Примечания:

1. За значение M для площадного источника принимается максимальный суммарный выброс с его территории с учетом в необходимых случаях несовременности выбросов от отдельных точечных источников.

2. По формулам (3.95), (3.96) рассчитывается распределение концентрации и при $u \neq u_m$. В этом случае c_m'' заменяется на c_{mu}'' , x_m'' на x_{mu}'' , u_m на u . Здесь $c_{mu}'' = rc_m''$, $x_{mu}'' = px_m''$, безразмерные коэффициенты r и p определяются по отношению u/u_m'' в соответствии с п. 3.2.7.

3. По приведенным формулам расчет концентраций производится для площадных источников, у которых отношение L_1/x_m'' и L_2/x_m'' не превышает 10. При размерах площадных источников, превышающих указанные значения, они должны разбиваться на несколько источников меньшей площади.

При расчетах для произвольного направления ветра площадной источник представляется в виде совокупности N равномерно рассредоточенных одиночных источников. Значение N определяется по формуле

$$N = 25S_n u / L_n^2. \quad (3.97)$$

Здесь S_n (m^2) — площадь рассматриваемого источника; L_n — расстояние от центра площадного источника до расчетной точки; u — расчетная скорость ветра. Значение N вычисляется с округлением до ближайшего целого числа.

Из предыдущей формулы следует, что для расчетных точек, расположенных на расстоянии, большем $L_n \geq 5 \sqrt{S_n} u$, площадной источник может рассматриваться как одиночный точечный источник ($N=1$).

Для каждого из этих одиночных точечных источников значения максимальной приземной концентрации c_m , расстояния x_m , на котором достигается эта максимальная концентрация, и опасной скорости ветра u_m определяется по формулам

$$c_m = c_m'' / N; \quad (3.98)$$

$$x_m = x_m''; \quad (3.99)$$

$$u_m = u_m'',$$

(3.100)

где c_m'' , x_m'' и u_m'' — это значения c_m , x_m и u_m для одиночного точечного источника, совокупность которых образует площадной источник; при расчете c_m'' в качестве M используется суммарный выброс от всех источников.

Надо иметь в виду следующее.

1. Если расчеты приземных концентраций относятся к участку местности, на котором расположен площадной источник, то целесообразно, чтобы условные источники находились в центрах ячеек расчетной сетки точек.

2. Формулы для площадного источника указанного типа применяются при выбросах от резервуарных парков предприятий, совокупностей мелких бытовых котельных и печных труб в городах, а также групп низких вентиляционных источников (при расчетах загрязнения атмосферы для участков, расположенных за пределами промышленной площадки). Использование формул для площадного источника существенно упрощает подготовку числового материала при расчетах загрязнения атмосферы на ЭВМ.

3. Информация о вкладах площадных источников в суммарное загрязнение атмосферы более показательна, чем аналогичная информация по отдельным мелким источникам.

4. Если расчеты относятся к участку местности, на котором расположен площадной источник, то он представляется в виде суммы нескольких меньших по размеру источников таким образом, чтобы выделить участки источника, для которых определенное по (3.97) значение N удовлетворяет условию $N < 100$. Оставшиеся источники представляются в виде совокупности точечных источников, расположенных в узлах квадратной сетки, шаг которой не превосходит $2x_m''$.

3.5.7. Расчет концентраций по вертикали

Перечисленные выше методы позволяют определить приземные концентрации вредных веществ или иных примесей от выбрасываемых установками газов. Поскольку проживание и деятельность людей осуществляются в многоэтажных зданиях, возникает необходимость определения концентраций на различных уровнях.

При выбросе из N источников расчет суммарной концентрации c_z , соответствующей уровню z над поверхностью земли, производится по формулам (3.68) — (3.71) с заменой c на c_z и c_i на c_{zi} . Концентрации от отдельных источников c_{zi} , соответствующие этим источникам опасные скорости

ветра u_{mzi} и максимальные концентрации $c_{mzi} = c_{zi}|_{u=u_{mzi}}$ определяются согласно

п. 3.2.11. При этом должны соблюдаться требования, следующие из разд. 4 при замене c_{mi} на c_{mzi} и u_{mi} и u_{mzi} .

Настоящие расчеты производятся при выборе положения устьев воздухозаборных труб и шахт, линий электропередачи и других объектов, расположенных на открытых участках местности или же на участках, где максимальная высота зданий (сооружений) не менее чем в 2,5 раза ниже высоты воздухозабора при условии, что источники выброса не располагаются в ветровой тени зданий (сооружений). В остальных случаях расчет проводится

в соответствии с правилами расчета загрязнения воздуха на промплощадке с учетом влияния застройки.

3.5.8. Обратные задачи

Изложенные выше методы расчетов классифицируются в инженерной практике как проверочные расчеты, когда все параметры процесса (явления) уже найдены и остается только убедиться в их правильности.

К обратной задаче относится определение мощностей выброса M_i ($i=1, 2 \dots, N$), соответствующих заданному значению максимальной приземной концентрации c_m (при фиксированных координатах источников, выброса, их высотах H_i и диаметрах устья D_i , скоростях выхода w_{0i} и перегибах ΔT_i газозвушной смеси).

Значение суммарного выброса M , соответствующее заданному значению максимальной концентрации c_m , для группы из N близко расположенных одиночных источников с одинаковыми высотами и другими параметрами выброса ($V_1, \Delta T, D, w_0$) определяется по формулам (3.33) и (3.34), в данном случае в формулах полагается $V_1 = V/N$ (V — суммарный расход выбрасываемой из всех источников газозвушной смеси).

В случае многоствольной трубы выброс M из всех стволов, соответствующий c_m , при $l < d_2 H$ определяется по формуле

$$M = c_m / (q_m'' + d_1 (q_m' - q_m'')), \quad (3.101)$$

где q_m' и q_m'' (мг/м^3) — приземные максимальные концентрации при $M=1$ г/с, рассчитанные соответственно при значениях параметров D и V_1 для одного ствола и при их эффективных значениях D_e (3.91), (3.94) и V_1 , (3.92); безразмерный коэффициент d_1 определяется по формуле (3.93).

При $l \geq d_2 H$ выброс M определяется в соответствии с настоящим подразделом.

При произвольном фиксированном размещении группы источников с заданными параметрами выброса (H_i, D_i, w_{0i} и ΔT_i) мощности источников M_i , соответствующие c_m , определяются так, чтобы наибольшее значение суммарной концентрации $\max c$, рассчитанное по (3.68) при переборе скоростей и направлений ветра, удовлетворяло условию

$$\max c = c_m. \quad (3.102)$$

В случае N одинаковых источников выброса значения M_i определяются по формуле

$$M_i = c M_{\Sigma} / c_{\Sigma}, \quad (3.103)$$

где c_{Σ} — максимальное значение рассчитанной по (3.68) суммарной концентрации c при начальных значениях мощности выброса M_{Σ} .

В общем случае из (3.102) определяется начальное приближение для значений M_i , уточняемое с учетом требований технической реализуемости и оптимального выбора мощностей источников.

Для одинаковых источников выброса в (3.103) значение c_{Σ} вычисляется при $M_{\Sigma}=1$ г/с. В общем случае значения M_{Σ} устанавливаются с учетом различия в мощностях выброса из труб разной высоты.

Раздел четвертый

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЕДИНИЧНОГО ИСТОЧНИКА ИЛИ ГРУППЫ ИСТОЧНИКОВ СО СЛОЖИВШИМСЯ ТОКСИЧНЫМ ФОНОМ. ПРОЕКТИРОВАНИЕ НОВЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ ДЕЙСТВУЮЩИХ ОБЪЕКТОВ

4.1. ЭЛЕМЕНТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ, ИСПОЛЗУЕМЫЕ ПРИ РАСЧЕТАХ И ОЦЕНКАХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

4.1.1. Введение и некоторые инженерно-физические аналоги

В инженерной практике мы имеем дело с функциональными зависимостями, когда заданной совокупности аргументов соответствует вполне определенное значение искомой функции. После того как технология или конструкция будут реализованы, совершенство проектно-конструкторских методов проверяется по уровню расхождения между расчетным и фактически измеренным на действующем оборудовании значением. Допускаемые расхождения, как правило, невелики и находятся на уровне нескольких процентов.

Принципиально иначе ведут себя вероятностные величины, к которым относятся наблюдаемые нами (измеряемые) приземные концентрации вредных веществ антропогенного происхождения. В качестве примера рассмотрим 100 измерений концентраций оксида серы на окраине города с населением 1,5 млн. чел. в последовательности их хронологического выполнения (табл. 4.1а).

Таблица 4.1а. Массив измеренных концентраций, записанный
в хронологическом порядке, мг/м³

0,16	0,07	0,123	0,34	0,47	0,49	0,26	0,245	0,35	0,23
0,31	0,38	0,127	0,074	0,34	0,42	0,36	0,13	0	0,005
0,005	0,135	0,08	0,07	0,055	0,09	0,092	0,057	0,05	0,045
0,118	0,127	0,13	0,167	0,2	0,19	0,162	0,19	0,2	0
0	0	0	0	0	0,118	0	0	0,022	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0,048	0,135	0	0,05	0,135	1,003	0,12	0,103	0,008
0,043	0,03	0,028	0,02	0,023	0	0	0	0	0
0,038	0,04	0,03	0	0	0	0	0	0	0
0	0,01	0,01	0	0,068	0,01	0,01	0	0,062	0,035

Мы преднамеренно сделали выборку из 100 элементов, дабы, приравняв ее к 100%, иметь численное совпадение процента и количества наблюдений.

Вначале сделаем некоторые формальные выводы из предъявленной выборки. Нетрудно подсчитать, что среднее арифметическое совокупности (математическое ожидание) $\mu \cong \bar{c} = 0,09 \text{ мг/м}^3$. При этом около 34% наблюдений показали, что $c_i = 0$, т. е. бесконечно меньше $\bar{c}$, а одно наблюдение оказалось в 11 раз выше среднего значения. Оговоримся, что записью $c_i = 0$ объединяются наблюдения концентраций ниже чувствительности метода измерения, но вовсе не математический нуль этих величин. В целом рассмотренная совокупность не укладывается в традиционные рамки функциональной зависимости.

Чтобы вскрыть особенности совокупности вероятностной величины, рассмотрим ее с позиций математической статистики. Разместим приведенные выше числа в порядке нарастания концентрации, придав каждой из них свой порядковый номер, как это сделано в табл. 4.1б. Считая всю совокупность за 100%, мы можем определить из таблицы первый признак распределения. Так, например, о концентрации 68 мкг/м^3 можно сказать, что значения меньше указанного встречались в 63 случаях или с вероятностью 63% и, наоборот, концентрации выше 68 мкг/м^3 ожидаются с вероятностью $100 - 63 = 37\%$. Чем многочисленнее массив наблюдений, тем с большей надежностью закономерность пробивается через случайность.

Для большей наглядности изобразим массив табл. 4.1б в форме графика, где по оси ординат отложены концентрации, а по оси абсцисс вероятность появления равных этим концентрациям значений, а также и меньших. В нашем случае (100 наблюдений) вероятность (%) численно совпадает с порядковым номером величины.

На рис. 4.1 и 4.2 табличные значения (табл. 4.1а и 4.1б) представлены в виде так называемой кривой функции распределения. По оси абсцисс наносится концентрация c_i , а по оси ординат ее порядковый номер. Первый график построен в полулогарифмических координатах, что дает возможность

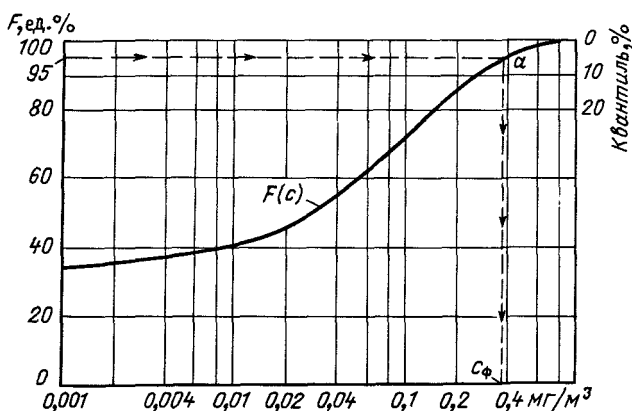


Рис. 4.1. Распределение разовых концентраций SO_2 в полулогарифмических координатах

Таблица 4.16. Массив измеренных концентраций, записанный в

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
С	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
№	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
С	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
№	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
С	0,022	0,023	0,028	0,03	0,03	0,035	0,038	0,04	0,043	0,045	0,048
№	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
С	0,103	0,118	0,12	0,123	0,127	0,127	0,13	0,13	0,135	0,135	0,135
№	93	94	95	96	97	98	99	100			
С	0,34	0,35	0,36	0,38	0,42	0,47	0,49	1,003			

избежать слияния точек, отвечающих малым концентрациям. Вместе с тем точки наблюдений $c_i=0$ вообще нельзя построить на таком графике ($\lg 0 = -\infty$).

На втором графике применены линейные координаты. Здесь хорошо просматривается весь размах кривой, но точки, ответственные за малые концентрации, сливаются с осью ординат. Полученные нами кривые функции распределения типичны для концентраций SO_2 и NO_2 различных ТЭС и городов. Будут меняться масштабы отдельных величин, но форма кривых их пропорции будет сохраняться достаточно устойчиво. Собственно в этом и заключена суть природы функции распределения, которую часто называют законом распределения конкретной физической величины, подчеркивая тем существование фундаментальных глубинных свойств совокупности этой случайной величины. Случайно только отдельное наблюдение. Совокупность же наблюдений в своих пропорциях следует строгим математическим законам!

Далее будет показано, что функция распределения может быть не только графической, но и описана математически. Сейчас мы попросим читателя потренироваться в чтении кривых распределения, еще раз напомнив, что это прочтение принципиально иное, чем в детерминированных функциях.

Так, например, точка a на кривых обоих графиков означает, что концентрации менее 0,37 наблюдаются в 95% случаев;
 вероятность появления концентраций менее 0,37 составляет 95%;
 концентрации выше 0,37 наблюдаются в $100-95=5\%$ случаев;
 концентрации выше 0,37 наблюдаются с вероятностью 5%.

Возможно и иное прочтение кривых, а именно: концентрация, превышаемая не более чем в 5% случаев (с вероятностью менее 5%), составляет 0,37.

В качестве аналога описанной выше функции распределения можно сослаться на широко распространенный в теплофикации «график тепловой

порядке увеличения значений наблюдаемых величин, мг/м^3

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
0	0	0	0,005	0,005	0,008	0,01	0,01	0,01	0,01	0,018	0,02
58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
0,05	0,05	0,055	0,057	0,062	0,068	0,07	0,07	0,074	0,08	0,09	0,092
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
0,16	0,162	0,167	0,19	0,19	0,2	0,2	0,23	0,245	0,26	0,31	0,34

нагрузки по продолжительности» (рис. 4.3). Общеизвестно: точка на кривой этого графика (например, k) означает, что тепловая нагрузка более Q_k длится менее τ_k ч и т. д.

Смысл последнего графика состоит в том, чтобы показать продолжительность разного уровня нагрузок, включая экстремальные, и найти способы их экономически рационального покрытия. Подобный график статистическими методами мог бы быть получен, если бы мы ежчасно фиксировали только тепловые нагрузки потребителей. На практике поступают иначе. Известно, что каждая мгновенная тепловая нагрузка может быть подсчитана, как линейная функция разности температур в помещении и температуры наружного воздуха, т. е. требует измерения этих температур, что и осуществляется диспетчером на уровне управления. В плановых графиках используют прогнозные: средние — многолетние данные о климате.

Строго говоря, с расчетом концентрации могло бы происходить то же самое. Измерив температурную стратификацию, скорости ветра, влажность, давление и другие динамические свойства атмосферы в слое 1—2 км, принципиально возможно рассчитать коэффициент A в формуле (3.1) и далее определить детерминированную этому состоянию приземную концентрацию. На практике, однако, измерение необходимых для расчета A параметров сопряжено с непосильными затратами труда и средств и у нас не применяется. За рубежом такая практика имела место в США в долине реки Теннесси. Непрерывно измеряя наземными и летательными станциями состояние атмосферы, компания определяла тот максимум выброса, который обеспечивал приземные концентрации несколько ниже ПДК. На практике это означало, что при хорошем рассеивании сжигали низкокачественное топливо, при плохом рассеивании высококачественное — газ.

В нашей стране управление качеством атмосферы пошло по пути ограничения максимума концентраций применительно к совпадению неблагоп-

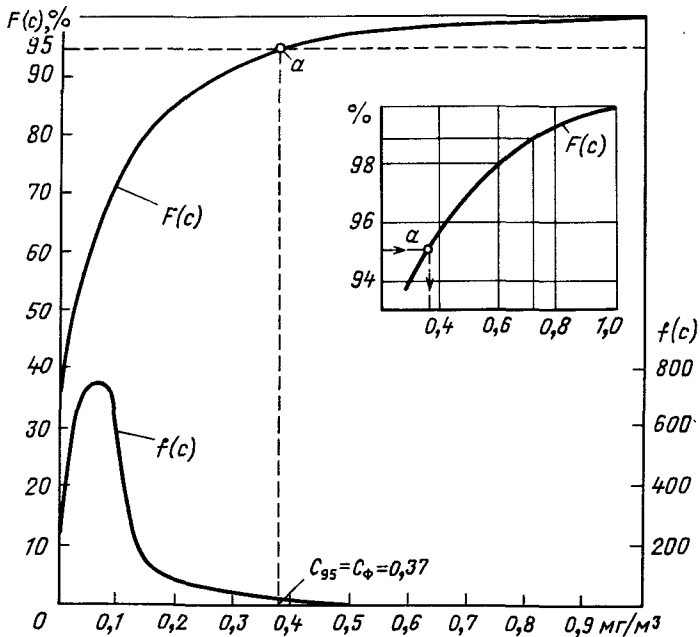


Рис. 4.2. Распределение разовых концентраций SO_2 в линейных координатах

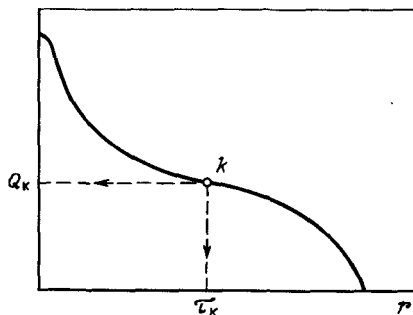
приятных для рассеивания метеоусловий, максимальных нагрузок и использованию экологически наиболее грязных видов топлива.

При такой постановке вопроса очевидно, что все остальные ситуации, за исключением аномальных, априори безопасны.

Ниже будут изложены математическое описание функций распределения и базирующиеся на них прикладные расчеты. Здесь же на примере сделанной выше выборки призмных концентраций остановимся на понятии токсичного фона. Термин «фон» широко используется в физике и технике как некий обозначенный источник помех радиоволн, электромагнитных полей, вибрации, шума и т. д. Применительно к физической природе фона он может регистрироваться и описываться самыми различными способами.

Госкомгидрометом совместно с Минздравом СССР под фоновой концентрацией вредного вещества понимается концентрация, которая не превышает в 95% наблюдений. На рис. 4.1, 4.2 значение фоновой концентрации рассмотренного нами района обозначено точкой a , отвечающей вероятности 95%. Иными словами, фоновая концентрация делит весь массив наблюдений на две части: 95% наблюдений оказываются ниже фоновой концентрации и 5% — выше. Как видно из фрагмента рис. 4.2 и табл. 4.16, при фоне $c_p = 0,37 \text{ мг/м}^3$ 5% наблюдений были выше, в том числе результаты одного из наблюдений достигали $1,003 \text{ мг/м}^3$. Невозможность превышения фона отдельными наблюдениями вытекает из статистической сущности этой величины. Непонимание вероятностной природы единичных наблюдений концентрацией

Рис. 4.3. График тепловой нагрузки по продолжительности



вредности привело к тому, что в своем программном документе по методическому обоснованию ПДК группа специалистов Минздрава СССР утверждала, что ПДКм.р. есть верхний предел концентраций, превышать который недопустимо ни при каких условиях [9].

Рассмотрим с позиции математической области применения базовой формулы (3.1) для расчета призмных концентраций.

Многочисленные измерения концентраций оксидов серы и золы под факелами изолированных ТЭС привели к функциям распределения, идентичным описанным выше, но с иными параметрами распределения. Базовая формула для расчета призмных концентраций согласно определению ориентирована на неблагоприятные по условиям загрязнения атмосферы метеоусловия, общая продолжительность которых не превышает 1-2% случаев, или суммарно 80-150 ч в течение года. Иными словами, это уровень концентрации, заведомо превышающий значения, наблюдаемые в 98-99% случаев, имевших место в течение года.

Обычно длительность конкретных неблагоприятных метеоусловий измеряется часами. Однако все же случается, что эти периоды смыкаются и для определенных групп населения возникает экстремальная ситуация. Так же как и в случае фоновых концентраций, рассчитанные подфакельные концентрации не являются пределом и изредка (1-2% длительности года или 1-2% общего числа наблюдений) расчетные концентрации теоретически могут превышать. На практике такие превышения крайне редки и относятся к так называемым аномальным метеоусловиям.

4.1.2. Краткие сведения о математическом аппарате статистики

В предыдущем разделе мы подробно рассмотрели построение и некоторые свойства экспериментально полученной кривой распределения. Если случайная величина обусловлена некоторой совокупностью причин и кривые ее распределения повторяются, мы имеем дело уже с законом распределения.

Наряду с функцией распределения $F(x)$ математическая статистика оперирует ее производной — плотностью распределения

$$f(x) = dF(x)/dx. \quad (4.1)$$

Таким образом, плотность распределения есть вероятность попадания исследуемой величины в конкретный интервал Δx , деленная на длину этого

интервала. Отсюда, в частности, и появления термина «плотность». Размерность плотности $1/x$. Приближенные значения плотностей распределения концентраций, подсчитанные для конечных интервалов $\Delta c = 0,1 \text{ мг/м}^3$, показаны на рис. 4.2. Несмотря на исчерпывающую характеристику исследуемой величины, распределение обладает тем неудобством, что характер функции нам неизвестен или неизвестно ее конкретное числовое значение. Поэтому в качестве меры рассеяния исследуемой величины используют характеристику, показывающую, как сильно отклоняются отдельные наблюдения (измерения) от своего среднего. Эта новая характеристика называется генеральной дисперсией и представляет собой математическое ожидание квадрата отклонения отдельного наблюдения от его генерального среднего:

$$\sigma^2 = M[x - M(x)]^2. \quad (4.2)$$

На практике под генеральным средним наблюдаемой величины понимают среднее арифметическое значение достаточно большой выборки

$$M(x) = \bar{x} = \sum_1^n x_i / n. \quad (4.3)$$

Дисперсия обозначается буквой «сигма» во второй степени. Корень квадратный из дисперсии $\sigma = \sqrt{\sigma^2}$ называется стандартом и несет в математической статистике самостоятельные обязанности. В частности, стандарт характеризует степень рассеяния в той же размерности, что и наблюдаемая величина.

Определение генеральной дисперсии предполагает, что мы располагаем весьма большим объемом наблюдений (измерений). В большинстве случаев, однако, число это бывает ограничено, и мы вынуждены пользоваться выборочной дисперсией, которую обозначают через s^2 и подсчитывают по формуле

$$\begin{aligned} s^2 &= [(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2] / (n - 1) = \\ &= \sum_1^n (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1), \end{aligned} \quad (4.4)$$

где $\bar{x}$ — среднее арифметическое; n — число наблюдений.

Соответственно выборочный стандарт:

$$s = \sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)}. \quad (4.5)$$

Существуют специальные приемы перехода от s^2 к σ^2 , однако в первом приближении различие между ними можно пока пренебречь. Примеры расчета дисперсии будут даны ниже.

В математической статистике используются также понятия вариации и размаха. Под вариацией понимается отношение стандарта к среднему, т. е. степень нестабильности:

$$V = \sigma / M = s / \bar{x}. \quad (4.6)$$

Размах X — это разность между самым большим и самым малым значением наблюдаемой величины:

$$X = x_{\text{макс}} - x_{\text{мин}}. \quad (4.7)$$

Нормальное распределение. При рассмотрении общих законов распределения мы привели только одно конкретное распределение в атмосфере. Математике известно очень большое количество распределений, описывать их вряд ли возможно. Ниже мы подробно рассмотрим наиболее универсальное и хорошо изученное, так называемое н о р м а л ь н о е распределение. Даже в тех случаях, когда закон распределения отличается от нормального, оно с той или иной степенью приближения может быть приравнено к нему. Математическая статистика располагает аппаратом, позволяющим достаточно строго определить принадлежность исследуемого массива к тому или иному виду распределений. Однако в рамках настоящей работы мы в интересах наглядности ограничимся преимущественно логическими критериями.

Анализируя нормальное распределение, А. М. Ляпунов сформулировал основные признаки распределения. Согласно теореме Ляпунова случайная величина x имеет нормальное распределение, если она представляет результат взаимодействия (суммы) большого числа взаимно независимых случайных факторов, влияние каждого из которых достаточно мало. Попробуем применить эту теорему для конкретных оценок приземной концентрации токсичных веществ.

Измеренные на уровне дыхания концентрации оксидов серы и азота обусловлены выбросами десятков тысяч самых различных по своей природе источников. Наибольший вклад по тоннажу дают ТЭС, однако их выброс осуществляется в верхние слои атмосферы, где скорости ветра и температурная стратификация (градиент вертикального изменения температуры воздуха) принципиально отличны от приземных.

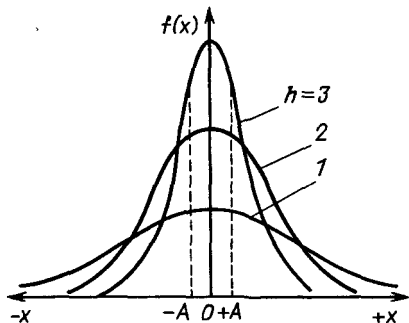
Выбросы автотранспорта рассредоточены по городу, их носители чрезвычайно многочисленны и резко переменны по времени суток, недели и сезона.

Выбросы промпредприятий занимают промежуточное положение между ТЭС и транспортом. Сезонный и рассредоточенный характер имеют выбросы мелких коммунальных котельных и печей индивидуальных застройщиков.

Формирование приземных концентраций зависит от погодных условий: силы и направления ветра, влажности, осадков и температурной стратификации, рельефа местности и т. д. Именно совокупность всех этих факторов и определяет распределение результирующей величины — концентрации в форме так называемого логнормального распределения. Как будет показано дальше, логнормальное распределение может быть приведено к широко известному и употребляемому нормальному распределению, к рассмотрению которого мы и обратимся. Математическое описание закона нормального распределения было эвристически сформулировано Гауссом. Экспериментальные проверки были произведены значительно позже и полностью подтвердили предложенный закон. Согласно этому закону плотность распределения записывается выражением

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}h^2(x-a)^2\right). \quad (4.8)$$

Рис. 4.4. Кривая плотности нормального распределения при различных значениях параметра h



Выясним природу параметров a и h . В соответствии с формулой (4.3) математическое ожидание величины x равно:

$$M(x) = \frac{h}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} x \exp \left[-\frac{1}{2} h^2 (x-a)^2 \right] dx. \quad (4.9)$$

Решая последнее уравнение, можно показать, что параметр a равен математическому ожиданию x . Напомним, что в первом приближении математическое ожидание может быть заменено средним арифметическим $\bar{x}$. Точно так же можно показать, что параметр h выражается через генеральную дисперсию или стандарт:

$$h = 1/\sqrt{\sigma^2} = 1/\sigma. \quad (4.10)$$

Для пояснения смысла параметра h на рис. 4.4 построены кривые распределения при $a=0$ и $h=1; 2$ и 3 . Из графика видно, что высота пика пропорциональна h , т. е. вероятность того, что наблюдаемая концентрация заключена внутри интервала $-A, +A$ при $h=2$ в 2 раза, а при $h=3$ в 3 раза больше, чем при $h=1$. Параметр h является, таким образом, мерой стабильности наблюдаемой величины. Собственно говоря, последнее свойство непосредственно вытекает из того, что h — величина, обратная стандарту.

Для величины, имеющей нормальное распределение, вероятность того, что ее единичное значение будет находиться в интервале (A, B) , запишется в форме

$$P(A < x < B) = F(x) \int_A^B = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_A^B \exp \left[-\frac{1}{2} \frac{(x-a)^2}{\sigma^2} \right] dx. \quad (4.11)$$

Численное решение последнего интеграла трудоемко, в связи с чем для упрощения расчетов лучше преобразовать его к форме, допускающей табулирование. Для этого введем новую безразмерную переменную

$$z = (x-a)/\sigma. \quad (4.12)$$

Тогда пределы интегрирования и дифференциал запишутся в следующем виде:

$$A_z = (A-a)/\sigma; \quad B_z = (B-a)/\sigma; \quad dx = \sigma dz.$$

Искомая вероятность через новые пределы запишется следующим образом:

$$P(A < x < B) = P\left(\frac{A-a}{\sigma} < \frac{x-a}{\sigma} < \frac{B-a}{\sigma}\right) = P(A_z < z < B_z) = F(z) \Big|_{A_z}^{B_z} = \\ = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{A_z}^{B_z} \exp\left[-\frac{z^2}{2}\right] dz. \quad (4.13)$$

В этом выражении новая переменная z есть не что иное, как безразмерное отклонение x от его математического ожидания. Применительно к измерениям $x-a$ представляет собой абсолютное отклонение, а $(x-a)/\sigma$ — безразмерное отклонение единичного измерения. Обратим внимание на то, что σ здесь играет роль единицы измерения или масштаба, откуда становится понятным термин «стандарт».

Для инженерных расчетов вполне достаточно располагать значениями функции распределения для $z = -5 \div 5$. Значения эти табулированы в виде вспомогательной функции Лапласа

$$\Phi(z) = F(z) - 1/2. \quad (4.14)$$

Функция Лапласа — та же функция распределения, но в пределах от 0 до z :

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt. \quad (4.15)$$

Очевидно, что $\Phi(-z) = \Phi(z)$.

Значения $\Phi(z)$ приведены в табл. 4.2. Искомую функцию распределения находим из выражения

$$F(z) = 1/2 + \Phi(z). \quad (4.16)$$

Т а б л и ц а 4.2. Интеграл вероятностей

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-t^2/2} dt$$

z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,0000	00 399	00 798	01 197	01 595	01 944	02 392	02 790	03 188	03 586
0,1	03 983	04 380	04 776	05 172	05 567	05 962	06 356	06 749	07 142	07 535
0,2	07 926	08 317	08 706	09 095	09 483	09 871	10 257	10 642	11 026	11 409
0,3	11 791	12 172	12 552	12 930	13 307	13 683	14 058	14 431	14 803	15 173
0,4	15 542	15 910	16 276	16 640	17 003	17 364	17 724	18 082	18 439	18 793
0,5	19 146	19 497	19 847	20 194	20 540	20 884	21 226	21 566	21 904	22 240
0,6	22 575	22 907	23 237	23 565	23 891	24 215	24 537	24 857	25 175	25 490
0,7	25 804	26 115	26 424	26 730	27 035	27 337	27 637	27 935	28 230	28 524
0,8	28 814	29 103	29 389	29 673	29 955	30 234	30 511	30 785	31 057	31 327
0,9	31 594	31 859	32 121	32 381	32 639	32 894	33 147	33 398	33 646	33 891
1	34 134	34 375	34 614	34 850	35 083	35 314	35 543	35 769	35 993	36 214
1,1	36 433	36 650	36 864	37 076	37 286	37 493	37 698	37 900	38 100	38 298

z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,2	38 493	38 686	38 877	39 065	39 251	39 435	39 617	39 769	39 973	40 147
1,3	40 320	40 490	40 658	40 824	40 988	41 149	41 308	41 466	41 621	41 774
1,4	41 924	42 073	42 220	42 364	42 507	42 647	42 786	42 922	43 056	43 189
1,5	43 319	43 448	43 574	43 699	43 822	43 943	44 062	44 179	44 295	44 408
1,6	44 520	44 630	44 738	44 845	44 950	45 053	45 154	45 254	45 352	45 449
1,7	45 543	45 637	45 728	45 818	45 907	46 080	46 164	46 246	46 327	46 327
1,8	46 407	46 485	46 562	46 638	46 712	46 784	46 856	46 926	46 995	47 062
1,9	47 128	47 193	47 257	47 320	47 381	47 441	47 500	47 558	47 615	47 670
2	47 725	47 778	47 831	47 882	47 932	47 982	48 030	48 077	48 124	48 169
2,1	48 214	48 257	48 300	48 341	48 382	48 422	48 461	48 500	48 537	48 574
2,2	48 610	48 645	48 679	48 713	48 745	48 778	48 809	48 840	48 870	48 889
2,3	48 928	48 956	48 983	49 010	49 036	49 061	49 086	49 111	49 134	49 158
2,4	49 180	49 202	49 224	49 245	49 266	49 286	49 305	49 324	49 343	49 361
2,5	49 379	49 396	49 413	49 430	49 446	49 461	49 477	49 492	49 506	49 520
2,6	49 534	49 547	49 560	49 573	49 585	49 598	49 609	49 621	49 632	49 643
2,7	49 653	49 664	49 674	49 683	49 693	49 702	49 711	49 720	49 728	49 736
2,8	49 744	49 752	49 760	49 767	49 774	49 781	49 788	49 795	49 801	49 807
2,9	49 813	49 819	49 825	49 831	49 836	49 841	49 846	49 851	49 856	49 861
3	49 865									
3,5	4 997 674									
4,0	4 999 683									
4,5	4 999 966									
5	4 999 997 133									

Внимательный читатель уже заметил, что конфигурации кривой плотности распределения концентраций сернистого газа в воздухе (рис. 4.2) и нормального распределения (рис. 4.4) не совпадают. Для того чтобы такое совпадение имело место и изложенный выше математический аппарат можно было применить к описанию и исследованию распределения концентрации вредного вещества в атмосфере, достаточно вместо значений x подставить логарифм концентрации $x = \lg c$. Тогда применительно к $\lg c$ начнут действовать законы и формулы нормального распределения.

Сказанное делает понятным введенный выше термин логнормального распределения для концентрации вредного вещества в атмосфере.

4.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОНОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ

4.2.1. Сущность и нормативное определение понятия фона

Физическая сущность фоновой концентрации вредного вещества была изложена в разд. 3.

Ниже приводятся нормативные требования к определению фоновых концентраций в атмосферном воздухе населенных мест при их дальнейшем использовании в целях нормирования и установления предельно допустимых или временно согласованных выбросов (ПДВ, ВСВ) по ГОСТ 17.2.3.02 – 78, изложенные во Временных указаниях, утвержденных Госкомгидрометом и согласованных Минздравом СССР [8]. По определению [8], фоновая концен-

грация является характеристикой загрязнения атмосферы конкретным веществом и относится к тому же времени осреднения, что и действующие предельно допустимые концентрации. Для каждого источника выбросов фоновая концентрация характеризует суммарную концентрацию, создаваемую всеми другими источниками, исключая рассматриваемый. Фоновая концентрация определяется для территории, в пределах которой обусловленная рассматриваемым источником концентрация превышает 0,05 ПДК. За фоновую концентрацию принимается статистически достоверная максимально разовая, осредненная за 20 мин концентрация. Для исключения элементов случайности, вносимой отбором проб, их анализом и другими причинами, фоновая концентрация определяется как значение, превышаемое в 5% общего числа наблюдений. Иными словами, это концентрация, превышающая значения 95% наблюдений всего массива концентраций.

Фоновые концентрации корректируются при вводе новых крупных объектов и пересматриваются не реже чем через 5 лет.

4.2.2. Основные требования к наблюдениям и их обработке

Фоновые концентрации могут быть получены путем обработки результатов, полученных на стационарных и маршрутных постах наблюдений. Обработка результатов измерений производится по отдельным ингредиентам для каждого стационарного поста наблюдений или сходственным точкам местности маршрутных наблюдений. За основу берется пятилетний массив наблюдений при условии, что за этот период не изменялись: методика отбора и анализа проб; расположение постов и маршрутов наблюдений; характер застройки, ландшафта или облесенности; масштабы и состав выбросов крупных промышленных объектов.

При отсутствии данных за пять лет допускается использовать массивы наблюдений, охватывающие не менее 2 лет, при условии, что годичное число наблюдений за каждым веществом должно быть не менее 200 при общем числе наблюдений за всеми веществами не менее 800.

Физический принцип и методика определения фоновой концентрации были изложены в [8].

Из личного опыта все знают, что загрязнение воздуха в городе зависит от совокупности метеоусловий. Временные указания [8] выделяют из этой совокупности только два фактора: направление и скорость ветра «по данным измерений на уровне флюгера (10 -15 м) на метеорологической станции, расположенной вблизи города или на его территории и репрезентативной для всего города в целом» [8]. Являясь нормативным, последнее положение не всегда подтверждается. Так, в ряде городов было замечено, что направления ветра на уровне флюгера возле метеостанции и на высоте 100 м различались до 90°. Трудно предсказуемые влияния рельефа, застройки, лесов, водоемов и других факторов делает этот показатель, на наш взгляд, ненадежным. Поэтому всюду, где имеются данные о ветрах на высоте 100 м, более целесообразно опираться на высотные замеры. Однако пока это всего лишь мнение автора.

По местным соображениям ветры группируются в румбы, представляющие собой углы, в пределах которых расположены интересующие нас направления ветра. Начало и конец румба определяются в угловых градусах. Простейшим способом является выделение четырех румбов по 90° по направлениям стран света: С, В, Ю, З. Если промышленное предприятие, являющееся основным источником загрязнения города, расположено вне этого города, выбираемые румбы могут не охватывать 360° и ограничиваться касательными к жилой застройке.

В рассмотрение принимаются четыре градации скорости ветра. Верхняя градация u_n определяется по уже известному нам 5%-ному квантилю, т. е. она должна быть такой, превышение которой наблюдается в 5% случаев. В 95% случаев ветер слабее. Ниже приведены данные многолетних наблюдений, зафиксирована повторяемость отдельных скоростей для некоторой местности по методам, изложенным в § 3.1, подсчитывается вероятность скоростей ниже данной и строится функция распределения (рис. 4.5), на которой графически и определяется скорость, превышаемая в $100-95=5\%$ случаев.

Градация скорости ветра, м/с	0—1	2—3	4—5	6—7	8—9	10—11	12—13	14—15
Повторяемость, %	28	32,4	20,2	11,3	6,5	1,2	0,1	0,1
Скорость ветра, м/с	1,5	3,5	5,5	7,5	9,5	11,5	13,5	15,5
Повторяемость меньших скоростей ветра, %	28	60,4	80,6	91,9	98,4	99,6	99,7	99,8

Полученный интервал делится на четыре-пять частей с выделением штыля, т. е. скоростей менее 1 м/с. При подфакельных наблюдениях рекомендуется использовать две градации: 0—2 м/с и $(3-u_n)$. Оформление наблюдений концентраций диоксида серы при южном румбе и в градациях скорости ветра дано в табл. 4.3.

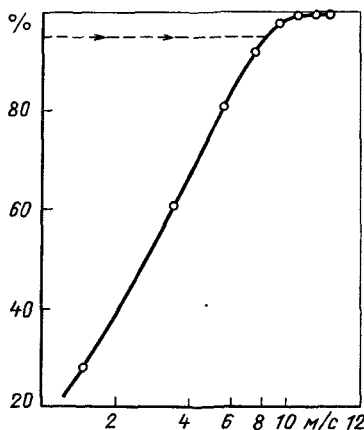


Рис. 4.5. Верхняя граница учитываемой скорости ветра

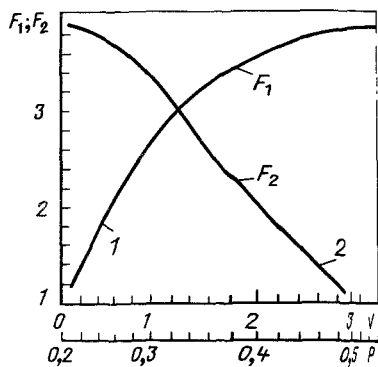


Рис. 4.6. Функции F_1 и F_2 для распределения фоновых концентраций

Таблица 4.3. Концентрация c_i (10^{-2} мг/м³) на посту № 4 города. Направление ветра: Ю

№ п/п.	Ветер, м/с					
	3	4	5	6	7	8
1	4	2	0	0	0	1
2	4	3	3	3	0	50
3	3	10	1	6	2	0
4	1	0	1	2	31	0
5	2	3	4	5	8	5
6	0	3	5	0	4	4
7	1	4	3	4	5	3
8	5	3	6	0	2	6
9	1	0	6	3	3	4
10	5	4	2	5	1	1
11	36	4	2	4	0	0
12	2	0	3	3	2	8
13	5	4	4	3	2	6
14	2	0	15	5	2	10
15	0	5	0	4	5	2
16	4	3	0	3	5	3
17	2	3	0	4	4	5
18	2	1	15	2	4	4
19	2	5	3	5	2	4
20	5	4	5	18	0	4
21	6	4	13	25	0	2
22	2	5	5	3	3	5
23	7	4	3	11	0	
24	5	0	0	4	4	
25	5	0	3	3	0	
26	3	6	20	0	6	
27	9	18	2	1	0	
28	5	—	3	0	2	
29	3	—	0	1	1	
30	1	—	3	3	2	
31	4	—	0	2	2	
32	4	—	3	2	5	
33	7	—	2	2	4	
34	16	—	5	—	6	
35	4	—	3	—	4	
36	4	—	4	—	3	
37	4	—	3	—	3	
38	30	—	4	—	2	
39	3	—	4	—	7	
40	29	—	6	—	3	
41	3	—	16	—	6	
42			3		3	
43			2	—	3	
44					2	

4.2.4. Математическая обработка результатов наблюдений

Развернутый метод. При больших массивах наблюдений их ранжировка и построение графиков занимают много времени, в связи с чем целесообразно применять формальные статистические методы.

С указанной целью для каждой градации скорости ветра определяются средняя концентрация

$$c_{\bar{x}} = \frac{1}{n} \sum c_i, \quad (4.17)$$

отвечающая этой же градации выборочная дисперсия

$$s^2 = \frac{1}{1-n} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2 \quad (4.18)$$

и, наконец, вариация выборки

$$V = \sqrt{s^2 / \bar{c}}. \quad (4.19)$$

Фоновую концентрацию рассчитывают по формуле

$$c_{\Phi} = \bar{c} F_1, \quad (4.20)$$

где F_1 — функция, определяемая по кривой 1 (рис. 4.6) и являющаяся общим решением задачи по отысканию 95% вероятности появления c_i для массива логнормального распределения с конкретными значениями $\bar{c}$ и s .

Существенно важно знать, что в приведенных расчетах логнормальная природа распределения принималась как очевидная. В действительности это только наиболее часто встречающаяся форма распределений концентраций, в связи с чем графический метод, в принципе, более объективен.

При ручной обработке результатов наблюдений могут быть использованы упрощенные приемы.

Медианный метод. В пределах каждой градации скорости ветра из общего числа наблюдений n определяется число наблюдений m , в которых концентрация вредного вещества превышает среднюю $\bar{c}$, и соответствующая вероятность этого события

$$P = m/n. \quad (4.21)$$

Соответствующая фоновая концентрация рассчитывается по формуле

$$c_{\Phi} = \bar{c} F_2. \quad (4.22)$$

Значения F_2 находят по кривой 2 рис. 4.6.

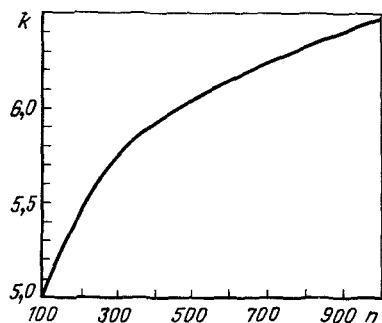


Рис. 4.7. Вспомогательный коэффициент при определении фоновой концентрации

Метод размаха. Делается выборка из всего массива наблюдений максимальной $c_{\max}$ и минимальной $c_{\min}$ концентраций.

По графику рис. 4.7, исходя из общей численности наблюдений n_i , определяется коэффициент k и вычисляется стандарт выборочной дисперсии

$$s_i = (q_{\max} - q_{\min}) / k. \quad (4.23)$$

Далее расчет ведут по формулам (4.19), (4.20) и рис. 4.6.

4.2.5. Расчет фоновых концентраций по данным инвентаризации

По определению, в случае наличия совокупности источников выброса вклады этих источников (или их части) могут учитываться в расчетах загрязнения воздуха путем использования фоновой концентрации c_f ($\text{мг}/\text{м}^3$), которая для отдельного источника выброса характеризует загрязнение атмосферы в городе или другом населенном пункте, создаваемое другими источниками, исключая данный.

Фоновая концентрация относится к тому же интервалу осреднения (20 — 30 мин), что и максимальная разовая ПДК. По данным наблюдений, c_f определяется как уровень концентраций, превышаемый в 5% наблюдений за разовыми концентрациями. Методы определения c_f по данным натурных измерений изложены в § 4.2.

Фоновые концентрации рассчитываются и устанавливаются местными органами контроля за состоянием воздушного бассейна по данным регулярных наблюдений на сети постов Общегосударственной службы наблюдений и контроля за загрязненностью объектов природной среды или по данным подфакельных наблюдений.

Фоновая концентрация может устанавливаться или единым значением по городу, или, в случае выявления существенной изменчивости, может быть дифференцирована по территории города, а также по скоростям и направлениям ветра. В случаях, когда по тем или иным причинам местные органы Гидрометслужбы не располагают полученными экспериментальным способом фоновыми концентрациями, последняя определяется и рассчитывается для совокупности источников города (промышленного района) по параметрам, полученным при общегородской инвентаризации выбросов. При этом фоновая концентрация определяется как произведение расчетной концентрации на коэффициент 0.4 с дальнейшим осреднением по территории и выделением градаций скорости и направления ветра в соответствии с приемами, изложенными выше для определения фона по экспериментальным данным.

По рекомендации ОНД-76 расчетный способ используется при определении фоновой концентрации для городов. При расчете фонового загрязнения воздуха выбросами автотранспорта используются формулы для наземных линейных источников (потоков автомашин на улицах) и формулы для наземных площадных источников (при учете выбросов автотранспорта на отдельных участках города). Все подобные расчеты делаются на ЭВМ.

При расчетах для действующих и реконструируемых ТЭС возникает необходимость определения фоновой концентрации c'_f , которая бы имела

место в случае прекращения ее выбросов. Соответствующее значение определяется по формулам

$$c'_\phi = c_\phi - 0,4c \text{ при } c \leq 2c_\phi; \quad (4.24)$$

$$c'_\phi = 0,2c_\phi \text{ при } c > 2c_\phi. \quad (4.25)$$

Здесь c — максимальная расчетная концентрация рассматриваемых вредных выбросов ТЭЦ, определенная по формулам разд. 3, при значениях параметров выброса, относящихся к периоду времени, по данным наблюдений за который определялась фоновая концентрация c_ϕ .

Большинство практических ситуаций охватываются формулой (4.24), так как для подавляющего числа городских ТЭЦ фон приближается к ПДК и расчетная концентрация $c < c_\phi$.

Обратим внимание читателя на то, что прекращение выбросов ТЭЦ сопровождается сокращением фона только на 40% обусловленных этой ТЭЦ концентраций.

4.3. ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ НА ОСНОВЕ РАСЧЕТА ПРИЗЕМНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ

4.3.1. Исходные предпосылки

Главной тенденцией мировой и отечественной энергетики является очистка дымовых газов от содержащихся в них токсичных веществ: оксидов серы, азота, золы и других соединений. Поскольку стоимость очистки возрастает быстрее, чем КПД очистки, эколого-экономический оптимум подразумевает неизбежность выбросов, концентрации вредных веществ в которых на несколько порядков выше ПДК. Соблюдение ПДК в зоне обитания обеспечивается разбавлением, т. е. неизбежным применением дымовых труб.

В процессе проектирования, расширения или реконструкции ТЭС должна быть определена такая высота трубы, при которой обеспечиваются гигиенические нормативы на уровне дыхания. Согласно нормативу за исходные берутся выбросы, получаемые «после полного использования всех доступных на современном уровне технических средств по сокращению выбросов». При этом использование на энергетических объектах труб высотой более 250 м, а на других производствах — более 200 м допускается только по согласованию с органами Госкомгидромета и Минздрава СССР при наличии технико-экономического обоснования необходимости их сооружения и расчетов загрязнения воздуха в зонах влияния сооружаемых объектов. Задачей расчетов действующих и проектируемых объектов является определение предельно допустимых выбросов и, как следствие, выбор топлива или степени пресечения вредных выбросов. При проектировании или установлении санитарно-защитных зон их границы увязываются с расчетными концентрациями.

4.3.2. Суммация вредного действия нескольких веществ

При одновременном совместном присутствии в атмосферном воздухе нескольких n веществ, обладающих в соответствии с перечнем, утвержденным Минздравом СССР, суммацией вредного действия, для каждой группы

указанных веществ однонаправленного вредного действия рассчитывается безразмерная суммарная концентрация q или значения концентраций n вредных веществ, обладающих суммацией вредного действия, приводятся условно к значению концентрации c одного из них.

Безразмерная концентрация q определяется по формуле

$$q = \frac{c_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{c_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{c_n}{\text{ПДК}_n}, \quad (4.26a)$$

где $c_1, c_2, \dots, c_n$ (мг/м³) — расчетные концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе в одной и той же точке местности; $\text{ПДК}_1, \text{ПДК}_2, \dots, \text{ПДК}_n$ (мг/м³) — соответствующие максимальные разовые предельно допустимые концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе.

Приведенная концентрация c рассчитывается по формуле

$$c = c_1 + c_2 \frac{\text{ПДК}_1}{\text{ПДК}_2} + \dots + c_n \frac{\text{ПДК}_1}{\text{ПДК}_n}, \quad (4.26b)$$

где c_1 — концентрация вещества, к которому осуществляется приведение; ПДК_1 — его ПДК; $c_2 \dots c_n$ и $\text{ПДК}_2 \dots \text{ПДК}_n$ — концентрации и ПДК других веществ, входящих в рассматриваемую группу суммации.

Для веществ, обладающих суммацией вредного действия, безразмерная и приведенная концентрации могут подсчитываться по формуле

$$M = M_1 + M_2 \frac{\text{ПДК}_1}{\text{ПДК}_2} + \dots + M_n \frac{\text{ПДК}_1}{\text{ПДК}_n}, \quad (4.27)$$

где $M_1, M_2, \dots, M_n$ — мощности выброса каждого из n веществ; $\text{ПДК}_1, \text{ПДК}_2, \dots, \text{ПДК}_n$ — максимальные разовые предельно допустимые концентрации этих веществ.

При рассмотрении комбинации веществ с суммирующимся вредным действием средневзвешенная опасная скорость ветра u_{mc} для совокупности N источников должна определяться по формуле

$$u_{mc} = \frac{q_{m1} u_{m1} + q_{m2} u_{m2} + \dots + q_{mN} u_{mN}}{q_{m1} + q_{m2} + \dots + q_{mN}}, \quad (4.28)$$

где $q_{m1}, q_{m2}, \dots, q_{mN}$ — максимальные значения q_m безразмерной концентрации q для каждого из N источников; $u_{m1}, u_{m2}, \dots, u_{mN}$ — опасные скорости ветра для этих источников, не зависящие от учета эффекта суммации.

4.3.3. Взаимодействие концентраций, обусловленных ТЭС с фоновыми концентрациями

При определении минимальной высоты источников выброса и установлении предельно допустимых выбросов концентрация c каждого вредного вещества в приземном слое атмосферы не должна превышать максимальной разовой предельно допустимой концентрации данного вещества в атмосферном воздухе ($\text{ПДК}_{м.р.}$), утвержденной Минздравом СССР. При наличии в атмосфере нескольких вредных веществ, обладающих суммацией

действия, их безразмерная суммарная концентрация q , определенная по формуле (4.26а), не должна превышать единицы.

Для веществ, для которых установлены только среднесуточные предельно допустимые концентрации (ПДК_{с.с.}), используется приближенное соотношение между максимальными значениями разовых и среднегодовых концентраций

$$\text{ПДК}_{\text{м.р.}} = 10 \text{ ПДК}_{\text{с.с.}} \quad (4.29\text{а})$$

Под ПДК_{с.с.} понимаются приводимые в нормативах Минздрава СССР ПДК среднесуточные ПДК_{с.с.}, т. е.

$$\text{ПДК}_{\text{м.р.}} = 10 \text{ ПДК}_{\text{с.с.}} \quad (4.29\text{б})$$

Напомним, что по старым правилам при отсутствии ПДК_{м.р.} за его значение принималось ПДК_{с.с.}, что в ряде случаев делало ограничения по пентаксиду ванадия более жесткими, чем по сернистому газу.

Нормы концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе для растительности и животного мира, утвержденные в установленном порядке, принимаются при расчетах только в случаях, когда они являются более жесткими, чем ПДК, утвержденные Минздравом СССР (ГОСТ 17.2.3.02–78).

Для зон санитарной охраны курортов, мест размещения крупных санаториев и домов отдыха, зон отдыха городов, а также для других территорий с повышенными требованиями к охране атмосферного воздуха в формулах (4.26а), (4.26б) и (4.27) следует ПДК заменить на 0,8 ПДК.

В общем случае для любого проектируемого или действующего объекта при отсутствии суммации должно соблюдаться условие

$$c + c_{\phi} \leq \text{ПДК} \quad (4.30)$$

Для ТЭЦ это относится к выбросам золы и NO₂ при отсутствии серы в топливе, т. е. при сжигании природного газа.

Для твердых и жидких топлив, содержащих серу, необходимо учитывать суммацию диоксидов серы и азота:

$$\frac{c_{\text{SO}_2}}{\text{ПДК}_{\text{SO}_2}} + \frac{c_{\text{NO}_2}}{\text{ПДК}_{\text{NO}_2}} + \left(\frac{c_{\text{SO}_2\phi}}{\text{ПДК}_{\text{SO}_2}} + \frac{c_{\text{NO}_2\phi}}{\text{ПДК}_{\text{NO}_2}} \right) \leq 1, \quad (4.31)$$

где c_{SO_2} и c_{NO_2} расчетные подфакельные концентрации соответствующих веществ; $c_{\text{SO}_2\phi}$ и $c_{\text{NO}_2\phi}$ — фоновые концентрации; ПДК_{SO₂} и ПДК_{NO₂} максимальные разовые ПДК.

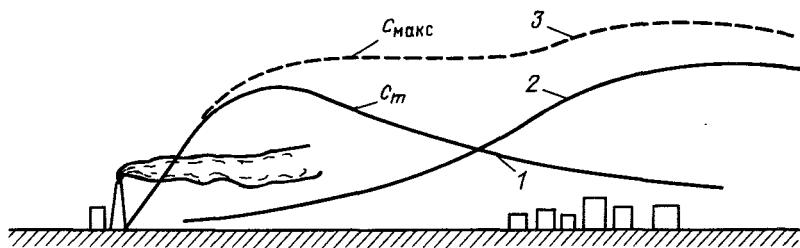


Рис. 4.8. Обусловленные загородными ТЭЦ подфакельные (1), фоновые (2) и суммарные (3) концентрации

Существенно важно, что расчетные концентрации не обязательно должны быть максимальными c_m . Требование поиска максимума относится ко всей сумме [левой части (4.31)]. Так, например, при сооружении ТЭЦ за пределами города на удалении более 20 Н от жилой застройки ход кривых фона и концентраций может быть таков, что координата максимума суммы и c_m не совпадают (рис. 4.8).

4.3.4. Определение минимальной высоты трубы

Минимальная высота одиночного источника выброса (трубы) H (м), если установлены значения M (г/с), w_0 (м/с), V_1 (м³/с), D (м), в случае $\Delta T \approx 0$ определяется по формуле

$$H = \left[\frac{AMFD\eta}{8V_1(\text{ПДК} - c_\phi)} \right]^{3,4}. \quad (4.32)$$

Значения символов см. § 3.2.

Если вычисленному значению H соответствует значение $v'_m \geq 2$, рассчитанное по (3.4), то указанное значение H является окончательным.

Если $v'_m < 2$, то необходимо при найденном значении $H = H_1$ определить величину $n = n_1$ по рис. 3.4 или по формулам (3.7) и последовательными приближениями найти $H = H_2$ по H_1 и n_1 , $H = H_{i+1}$ по H_i и n_i с помощью формулы

$$H_{i+1} = H_1 (n_i / n_{i-1})^{3,4}, \quad (4.33)$$

где n_i и n_{i-1} - значения безразмерного коэффициента n , определенного соответственно по значениям H и H_{i-1} .

Уточнение значения H необходимо производить до тех пор, пока два последовательно найденных значения H_i и H_{i+1} практически не будут отличаться друг от друга (с точностью до 1 м).

При $\Delta T > 0$ значение H сначала рассчитывается по формулам (4.5). Если при этом найденное значение $H \leq w_0 \sqrt{10D/\Delta T}$, то оно является окончательным.

Если найденное значение $H > w_0 \sqrt{10D/\Delta T}$, то предварительное значение минимальной высоты выбросов (трубы) определяется по формуле

$$H = \sqrt{\frac{AMF\eta}{(\text{ПДК} - c_\phi)^3 V_1 \Delta T}}. \quad (4.34)$$

По найденному таким образом значению $H = H_1$ определяются на основании формул разд. 3 значения f , v_m , v'_m , f_e и устанавливаются в первом приближении коэффициенты $m = m_1$ и $n = n_1$. Если $m_1 n_1 \neq 1$, то по m_1 и n_1 определяется второе приближение $H = H_2$ по формуле $H_2 = H_1 \sqrt{m_1 n_1}$. В общем случае приближение H_{i+1} определяется по формуле

$$H_{i+1} = H_i \sqrt{\frac{m_i n_i}{m_{i-1} n_{i-1}}}, \quad (4.35)$$

где m_i , n_i соответствует H_i , а m_{i-1} , n_{i-1} - величине H_{i-1} . Если из источника выбрасывается несколько различных вредных веществ, то за высоту выброса должно приниматься наибольшее из значений H_i , которые определены для каждого вещества в отдельности и для групп веществ с суммирующимся вредным действием. В частности, если при отсутствии фона из трубы выбрасывается два вредных вещества, для первого из которых значения M и F соответственно равны M_1 и F_1 , а для второго - M_2 и F_2 , то значение H при $F_1 M_1 > F_2 M_2$ определяется по выбросу первого вредного вещества, а при $F_1 M_1 < F_2 M_2$ - по выбросу второго вредного вещества.

При разработке мероприятий по сокращению выбросов, проектированию, строительстве и реконструкции предприятий следует предусматривать централизацию выбросов вредных веществ путем максимального сокращения числа труб, вентиляционных шахт, дефлекторов, аэрационных фонарей и др.

Увеличение высоты трубы для обеспечения рассивания с целью соблюдения ПДК в приземном слое атмосферы допускается только после полного использования всех доступных на современном уровне технических средств по сокращению выбросов (в том числе неорганизованных выбросов). При этом использование на энергетических объектах труб высотой более 250 м, а на других производствах - более 200 м допускается только по согласованию с органами Госкомгидромета СССР при наличии технико-экономического обоснования необходимости их сооружения и расчетов загрязнения воздуха в зонах влияния сооружаемых объектов [2].

4.3.5. Разработка предельно допустимых и времени согласованных выбросов (ПДВ и ВСВ) для ТЭС и котельных

Предельно допустимый выброс вредных веществ в атмосферу (ПДВ) устанавливается для каждого источника загрязнения атмосферы таким образом, чтобы выбросы вредных веществ от данного источника и от совокупности источников города или другого населенного пункта с учетом перспективы развития промышленных предприятий и рассивания вредных веществ в атмосфере не создавали приземную концентрацию, превышающую их ПДК для населения, растительного и животного мира (ГОСТ 17.2.3.02 - 78).

Значения ПДВ устанавливаются при разработке ведомственных предложений по ПДВ, сводных томов «Охрана атмосферы города и предельно допустимый выброс (ПДВ)», подразделов, касающихся защиты атмосферы от загрязнения, в разделе «Охрана окружающей среды» различных видов предпроектной и проектной документации (ППД) на строительство новых и реконструкцию существующих предприятий. Они устанавливаются как для строящихся, так и для действующих предприятий.

Установление ПДВ производится с применением методов расчета загрязнения атмосферы промышленными выбросами и с учетом перспектив развития предприятия, физико-географических и климатических условий местности, расположения промышленных площадок и участков существующей и проектируемой жилой застройки, санаториев, зон отдыха городов, взаимного расположения промышленных площадок и жилых территорий.

ПДВ (г/с) должны устанавливаться для времени года и нагрузки, сочетание которых даст максимальные приземные концентрации. Для ТЭЦ, КЭС и котельных это, как правило, наиболее холодный период года, когда тепловые и электрические нагрузки максимальны.

Применительно к ТЭС ПДВ устанавливается для каждой дымовой трубы и станции в целом. ПДВ определяется для каждого вещества отдельно, в том числе и в случаях учета суммации вредного действия нескольких веществ.

При установлении ПДВ учитываются фоновые концентрации c_{ϕ} .

При определении ПДВ для действующих производств c_{ϕ} заменяется на c'_{ϕ} .

Значение ПДВ (г/с) для одиночного источника с круглым устьем в случаях $c_{\phi} < \text{ПДК}$ определяется по формуле

$$\text{ПДВ} = \frac{(\text{ПДК} - c_{\phi}) H^2}{A F m n \eta} \sqrt[3]{V_1 \Delta T}. \quad (4.36)$$

Для относительно «холодных» выбросов, $\Delta T \approx 0$, в случае $f \geq 100$ ПДВ определяется по формуле

$$\text{ПДВ} = \frac{(\text{ПДК} - c_{\phi}) H^{4/3} 8 V_1}{A F n \eta D}. \quad (4.37)$$

При установлении ПДВ для одиночного источника выброса смеси постоянного состава веществ с суммирующимся вредным действием сначала определяется вспомогательное значение суммарного ПДВ, равного ПДВ, приведенному к выбросу одного из веществ. Для этого в формулах (4.36), (4.37) используются ПДК данного вещества и суммарный фон c_{ϕ} , приведенный к этому же веществу. Затем с учетом состава выбросов определяются ПДВ отдельных вредных веществ.

В случае многоствольной трубы (при $l < d_2 H$) значение ПДВ из всех стволов определяется по формуле

$$\text{ПДВ} = \frac{\text{ПДК} - c_{\phi}}{q''_m + d_1 (q''_m - q''_m)}, \quad (4.38)$$

где q'_m и q''_m (мг/м³) — приземные максимальные концентрации вредного вещества при $M=1$ г/с, находимые при значениях параметров выброса для одного ствола и диаметра D , равного соответственно фактическому и эффективному диаметрам устья (п. 3.5.3).

Объем газовоздушной смеси V_1 при расчете q''_m полагается равным его эффективному объему V_1 , (3.33). Безразмерный коэффициент d_1 определяется с использованием формулы (3.93).

При разработке ПДВ для реконструируемого предприятия расчеты выполняются на фактическое положение и на перспективу. При расчетах на фактическое положение используются значения M и V_1 по данным последней инвентаризации выбросов с внесением в случае необходимости дополнительных уточнений. При расчетах на перспективу расчеты производятся отдельно для каждого из намеченных этапов сокращения выбросов с использованием значений M и V_1 , ожидаемых в результате реализации намеченных мероприятий.

Предлагаемый в качестве ПДВ вариант должен быть оптимальным по технико-экономическим показателям.

Установлению ПДВ для отдельного источника предшествует определение его зоны влияния, радиус которой приближенно оценивается как наибольшее из двух расстояний от источника: x_1 и x_2 (м), где $x_1 = 10x_m$ (при этом x_1 соответствует расстоянию, на котором составляет 5% c_m). Значение x_2 определяется как расстояние от источника, начиная с которого $c \leq 0,05$ ПДК. Здесь c_m , x_m и c определяются по формулам разд. 3.

Для ТЭС и предприятий также устанавливаются зоны влияния, включающие в себя круги радиусом x_1 , проведенные вокруг каждой из труб предприятия, и участки местности, где рассчитанное на ЭВМ суммарное загрязнение атмосферы от всей совокупности источников выброса данного предприятия, в том числе низких и неорганизованных выбросов, превышает 0,05 ПДК.

Зоны влияния источников и предприятий рассчитываются по каждому вредному веществу (комбинации веществ с суммирующимся вредным действием) отдельно.

Для предприятий и источников, зоны влияния которых целиком расположены в участках города, где рассчитанная суммарная концентрация от всех источников города $\sum c < \text{ПДК}$, значения выбросов, использованные при указанных расчетах $\bar{c}$, принимаются в качестве ПДВ.

При определении размеров зоны влияния предприятия допускается приближенно производить расчеты загрязнения атмосферы на ЭВМ только для одного направления ветра (с предприятия на центр города), средневзвешенной опасной скорости ветра, причем расчетная область представляется отрезком между центром предприятия и границей города.

При детализации фона только по территории города в качестве фона c_f для предприятия (источника) при установлении ПДВ используется его максимальное значение в зоне влияния рассматриваемого предприятия (источника). После этого учет фона производится обычным образом.

Если фон в зоне влияния детализирован по двум градациям скорости ветра (c_{f1} и c_{f2}), то для одиночного источника сначала определяются вспомогательные значения M в каждой из градаций скорости ветра по следующим формулам:

$$M_i = \frac{(\text{ПДК} - c_{fi}) H^{2.3} \sqrt{V_1 \Delta T}}{A F m \eta r_i} \text{ при } f \leq 100; \quad (4.39)$$

$$M_i = \frac{(\text{ПДК} - c_{fi}) H^{4.3} V_1}{A F \eta r_i D} \text{ при } f > 100 \text{ или } \Delta T \approx 0. \quad (4.40)$$

Здесь $i=1$ или 2, безразмерный коэффициент r_i определяется с помощью соотношений (3.16), остальные обозначения аналогичны введенным в разд. 3. Значение $i=1$ соответствует той градации скорости ветра, в которую попадает опасная скорость ветра u_m . Для этой градации полагается $r_1 = 1$. Если $c_{f1} > c_{f2}$, то ПДВ = M_1 . Если $c_{f2} > c_{f1}$, то производится расчет M_2 , причем при расчете безразмерного коэффициента r_2 используется скорость u , соответствующая

середине рассматриваемой градации. В последнем случае ПДВ равен минимальному значению из M_1 и M_2 , т. е.

$$\text{ПДВ} = \min(M_1, M_2). \quad (4.41)$$

Для ТЭЦ и котельных, расположенных в городах, достаточно часто встречается ситуация, когда фоновая концентрация, выше ПДК_{м.р.}, т. е. $c'_{\phi} > \text{ПДК}_{\text{м.р.}}$. В этом случае увеличение мощности выброса от реконструируемых объектов и строительство на предприятии новых котлов с выбросами тех же веществ или веществ, обладающих с ними суммацией вредного действия, может быть допущено только при одновременном обеспечении снижения выбросов вредных веществ в атмосферу на остальных объектах рассматриваемого предприятия или на других предприятиях города, обоснованного проектными решениями. Методика не содержит рекомендаций, каким образом сокращение выбросов должно быть распределено между ТЭЦ и другими предприятиями города. Как это можно сделать, изложено в разд. 7.

Наряду с максимальными разовыми ПДВ (г/с) в оперативных целях для выполнения проектных оценок темпов снижения выбросов и возможностей утилизации содержащихся в них вредных веществ устанавливаются годовые значения ПДВ (т/год) для отдельных дымовых труб и ТЭС в целом.

Для действующих предприятий, если в воздухе городов или других населенных пунктов концентрации вредных веществ превышают ПДК, а значения ПДВ в настоящее время не могут быть достигнуты, по согласованию с контролирующими органами предусматривается поэтапное, с указанием длительности каждого этапа, снижение выбросов вредных веществ до значений ПДВ, обеспечивающих достижение ПДК, или до полного предотвращения выбросов. На каждом этапе до обеспечения значений ПДВ устанавливаются временно согласованные выбросы вредных веществ (ВСВ) с учетом значений выбросов предприятий с наилучшей (в части охраны окружающей среды) достигнутой технологией производства, аналогичной по мощности и технологическим процессам. При установлении ВСВ следует пользоваться теми же приемами расчета, что и при установлении ПДВ.

Значения ВСВ, так же как и ПДВ, устанавливаются для источников и для предприятия в целом. Если зона влияния источника (вне зависимости от соотношения между концентрациями в точке его расположения и ПДК) захватывает участки местности, где концентрация больше ПДК, то на соответствующем этапе снижения выбросов должно устанавливаться значение ВСВ. Для вновь проектируемых предприятий (объектов) значения ВСВ не устанавливаются.

4.3.6. Определение границ санитарно-защитной зоны

Применительно к ТЭС понятие санитарно-защитной зоны (СЗЗ) распространяется только на вредные вещества, уносимые с топливного склада, загазованных цехов и золоотвалов. К вредным веществам, уходящим с газами через дымовые трубы, понятие СЗЗ не применимо.

Размеры санитарно-защитной зоны (СЗЗ) l_0 (м), установленные в Санитарных нормах проектирования промышленных предприятий, должны проверяться

расчетом загрязнения атмосферы в соответствии с требованиями ОНД (разд. 3) с учетом перспективы развития предприятий и фактического загрязнения атмосферного воздуха.

Полученные по расчету размеры СЗЗ должны уточняться отдельно для различных направлений ветра в зависимости от результатов расчета загрязнения атмосферы и среднегодовой розы ветров района расположения предприятия по формуле

$$l = L_0 P / P_0, \quad (4.42)$$

где l (м) — расчетный размер СЗЗ; L_0 (м) — расчетный размер участка местности в данном направлении, где концентрация вредных веществ (с учетом фоновой концентрации от других источников) превышает ПДК; P (%) — среднегодовая повторяемость направления ветров рассматриваемого румба; P_0 (%) — повторяемость направлений ветров одного румба при круговой розе ветров.

Например, при восьмирумбовой розе ветров $P = 100/8 = 12,5\%$. Значения l и L отсчитываются от границы источников.

Значения L в общем случае могут различаться для ветров разных направлений. Среднегодовая роза ветров, характеризующаяся значениями P для разных румбов, принимается по данным «Справочника по климату СССР», а при отсутствии необходимых данных в этом справочнике запрашивается в УГКС по месту расположения предприятия.

Учитывая значительную пространственную изменчивость розы ветров, особенно в условиях сложного рельефа, речных долин, вблизи морей, озер и т. п., при использовании справочных данных следует согласовать принятую розу ветров с УГКС Госкомгидромета по месту расположения предприятия.

Если в соответствии с предусмотренными техническими решениями и расчетами загрязнения атмосферы значения СЗЗ для предприятия получаются больше, чем значения, установленные Санитарными нормами проектирования промышленных предприятий, то необходимо пересмотреть проектные решения и обеспечить выполнение требований Санитарных норм за счет уменьшения количества выбросов вредных веществ в атмосферу, увеличения высоты их выброса с учетом установленных ограничений и др. Если и после дополнительной проработки не выявлены технические возможности обеспечения размеров СЗЗ, требуемых этими Санитарными нормами, то значения l принимаются в соответствии с результатами расчета загрязнения атмосферы по согласованию с Минздравом СССР и Госстроем СССР.

4.4. НЕСОГЛАСОВАННОСТЬ РАСЧЕТОВ РАССЕИВАНИЯ В АТМОСФЕРЕ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ И НОРМИРОВАНИЯ ИХ КОНЦЕНТРАЦИИ

Документы [11, 2, 8] содержат внутренние противоречия, что затрудняет их использование при определении ассигнований на природоохранные цели. Вместе с тем даже небольшие изменения нормирования означают многомиллионные перераспределения вложений в воздухоохраные мероприятия или вызванное экологическими требованиями рассредоточение энергетических объектов. Изложенные в настоящем разделе концепции вытекают из фун-

даментальных исследований ГГО им. А. И. Воейкова и ИОКГ им. А. Н. Сысина. Для выяснения ясности в последующее изложение рассмотрим положенные в основу нормативов определения фона и расчетной концентрации.

Традиционно фон ассоциируется с некоторыми усредненными за длительный период измеренными показателями. В документах это статистически нормированные максимумы. «Временные указания» содержат определение физической сущности и методов получения фоновой концентрации эмпирическим и аналитическим способами [8]. При наличии многочисленных измерений за длительный период времени под фоном понимается «статистически достоверная максимальная разовая концентрация (средняя за 20 мин). Фоновая концентрация определяется по данным наблюдений как значение концентрации, которое превышает не более чем в 5% случаев общего количества наблюдений».

При необходимости «учет фона осуществляется расчетным путем по данным инвентаризации источников выброса. Такой учет фона заключается в проведении расчетов суммарного поля концентраций от рассматриваемого источника и других источников выбросов того же вредного вещества или веществ, обладающих с ним суммацией вредного действия». Эти расчеты выполняются по формулам ОНД-86.

Таким образом, рассчитанные по [2] и измеренные по [8] значения фона признаются величинами одного физического смысла. Рассматриваемые нами нормативы оперируют двумя определяющими выбор проектного решения зависимостями. При вводе нового объекта с рассчитанной по ОНД-86 приземной концентрацией c и фоном города c_{ϕ} должно соблюдаться условие

$$c + c_{\phi} \leq \text{ПДК}_{\text{м.р.}} \quad (4.43)$$

При закрытии объекта с расчетной концентрацией c новое значение фона согласно [2] определяется по формуле

$$c_{\phi}^1 = c_{\phi} - 0,4c \text{ при } c \leq 2c_{\phi}. \quad (4.44)$$

Коэффициент 0,4, по-видимому, был введен для выравнивания вероятностей слагаемых. Поскольку это не было сделано для уравнения (4.43), то появились серьезные противоречия.

Выполним простейший математический эксперимент. Рассмотрим город с фоном $c_{\phi 0}$, в котором вводится объект с расчетной концентрацией c . Предположим, что согласно уравнению (4.43)

$$c_{\phi 0} + c = \text{ПДК}_{\text{м.р.}} \quad (4.45)$$

При этом в городе сформируется некоторый «новый» фон $c_{\phi 1}$. Проведем обратную операцию, т. е. вновь закроем наш объект. Согласно условию (4.44) получим фон

$$c_{\phi}^1 = c_{\phi 1} - 0,4c, \quad (4.46)$$

который по физической сути задачи равен исходному $c_{\phi 0}$. Отсюда с очевидностью получаем, что «новый» фон будет существенно ниже $\text{ПДК}_{\text{м.р.}}$:

$$c_{\phi 1} = c_{\phi 0} + 0,4c. \quad (4.47)$$

Иными словами, сохраняется возможность дополнительного увеличения токсичного выброса в атмосферу. Со временем, т. е. после ввода объекта и накопления эмпирических данных, это подтвердится близким значением нового фонда и $c_{ф1}$. А раз так, то станет возможным ввести еще один объект и так далее.

Как видно из приведенных выкладок, рассматриваемые нами нормативы [2, 8] вносят неопределенность в долговременное планирование строительства объектов с многотоннажными выбросами.

Известно, что концентрации токсичного вещества в атмосфере города или зоне действия ТЭС меняются на протяжении года в очень широких пределах. Совокупность результатов измерения в большинстве городов характеризуется логнормальным законом распределения [1] и наиболее полно описывается через математическое ожидание (среднее арифметическое) и дисперсию: $\bar{C}$, σ . При этом действует соотношение

$$\ln c_p \geq \ln \bar{C} + f(P\sigma), \quad (4.48)$$

означающее, что с вероятностью P соответствующий процент (доля) измерений окажется выше определяемой из правой части уравнения величины. Функция $f(P, \sigma)$ возрастет по мере уменьшения вероятности P ; смысл ее будет ясен из дальнейшего.

Из последнего уравнения следует, что при уменьшении вероятности можно ожидать все больших значений концентраций. Более того, уровень этих концентраций теоретически не ограничен, а практически в десятки раз превышает среднегодовые. Действительно, зарегистрированные концентрации весьма значительны и намного выше ПДК_{м.р.}. Сам по себе этот факт ни в коей мере не свидетельствует о загрязненности атмосферы, так как единичное кратковременное и локальное превышение ПДК_{м.р.} теоретически неопровержимо, а соответствующее кратковременное воздействие вряд ли представляет какую-либо опасность.

Таким образом, научное понимание ПДК_{м.р.} включает в себя допустимую вероятность (частоту) его безопасных для реципиента превышений. Само собой разумеется, что уровень этих превышений не должен выходить за рамки логнормального распределения. В неявной форме это понимание ПДК_{м.р.} нашло подтверждение в согласованных Минздравом СССР «Временных указаниях», признающих состояние атмосферы благополучным, если фон (5% превышения) равен ПДК_{м.р.}. Несмотря на заложенную в самом определении неизбежность превышения ПДК_{м.р.} и на признание этого превышения Минздравом СССР во «Временных указаниях» [8], факт этот продолжают оспаривать, дезориентируя тем самым региональные санитарно-эпидемиологические службы и подразделения Госкомгидромета. Так, в заключении рабочей группы Минздрава о методике обоснования ПДК сказано: «принципиально неверным является допущение возможности превышения разовых ПДК» [9].

Единый для всех веществ 5%-ный квантиль разрешенного превышения, по-видимому, является всего лишь первым приближением практического решения. Дифференцированный подход к выбору значения квантиля содержится в работах ИОКГ им. А. П. Сырина [12]. Авторы связывают эту величину с отношением значений максимально разовой и среднесуточной ПДК.

В соответствии с приводимой ими таблицей применительно к выбросам многоотоннажных вредных веществ разрешаемая частота превышения ПДК_{м.р} может составлять: сернистый газ—1%, или 86 ч/год, диоксид азота 10%, или 860 ч/год, оксид углерода 10%, или 860 ч/год.

Если исходить из этих чисел, требования по сернистому газу должны дополнительно ужесточиться, а по диоксиду азота— снизиться. Естественно, что единичная публикация не дает основания для изменения нормативов, однако значимость нормирования для защиты здоровья населения и предотвращения необоснованных затрат настоятельно требует скорейшего выполнения необходимого объема и уровня таких исследований.

Рассмотрим статистическую обеспеченность отдельных слагаемых базового уравнения (4.43). Фоновые концентрации c_{ϕ} по определению являются уровнями с разрешенной частотой превышения 5%. Расчетная подфакельная концентрация c , по данным разработчиков формулы, превышает только в 1-2% случаев [13]. Таким образом, сумма $(c + c_{\phi})$ уже не имеет однозначного вероятностного определения. На практике разновероятностная система критериев приведет к тому, что реципиенты, находящиеся в зоне действия изолированного объекта с расчетной концентрацией c и города с фоном c_{ϕ} при условии $c = c_{\phi}$, пребывают в равных условиях чисто формально. Фактически число превышений концентраций c для горожанина будет в несколько раз выше. Более того, положение горожанина будет тяжелее в диапазоне $0.4c \leq c_{\phi} \leq c$. Инвестиции же будут направляться к обладателю большего члена неравенства $c_{\phi} \neq c$, и нечеткость нормирования обернется экономическими просчетами.

Изложенные противоречия однозначно снимаются при исключении условия (4.43) и замены его универсальным условием (4.44). Тогда $c_{\phi}^1 = c_{\phi} \pm 0.4c \leq \text{ПДК}$ (со знаком «+» при вводе и «-» при выводе объекта). Изложенное нами положение вещей, как это следует из специальных публикаций [13], известно авторам [2] и [8] и непосредственно вытекает из их работ.

К настоящему времени Госкомгидрометом накоплен огромный статистический материал фактического загрязнения атмосферы, в связи с чем представляется необходимым и своевременным сопоставить его с результатами расчета концентрации вредных веществ в тех же условиях. Как известно, расчетные методы в силу ряда методических и организационных причин охватывают только крупные промышленные источники. Мелкие и транспортные источники практически расчетом не охватываются. В связи с этим только часть измеренных концентраций может быть отнесена на счет крупных источников. Напомним, что несмотря на случайность значения каждой конкретной измеренной концентрации вся их совокупность в большинстве случаев подчиняется логнормальному закону распределения [1], согласно которому вероятность P появления повышенных концентраций и сами эти концентрации связаны соотношением

$$c_{1-P} = -\frac{\bar{C}}{\sqrt{1+V^2}} \exp \left[z_{1-2P} \sqrt{2 \ln(1+V^2)} \right], \quad (4.49)$$

где c_{1-P} —концентрация, вероятность превышения которой равна P ; $\bar{C}$ —среднеарифметическое значение выборки; $V = \sigma/\bar{C}$ коэффициент вариации;

здесь $\sigma^2 = \sum_1^n \frac{(\bar{C} - c_i)^2}{n-1}$ — дисперсия; z_{1-2P} — аргумент уравнения $\text{erf}(z) = 1 - 2P$,

$$\text{где } \text{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-t^2} dt.$$

Последнее выражение представляет собой интеграл вероятности, значения z_{1-2P} приведены в таблицах математической статистики. На базе изложенного выше рассмотрим соотношение расчетных и измеренных концентраций сернистого газа и отвечающих им вероятностей появления в четырех крупных городах. Все города имеют мощный промышленный потенциал и развитую энергетику, дающую более половины валового выброса SO_2 . Население городов А и Г — более 1 млн., Б и В — около 500 тыс. жителей.

Сернистый газ выбран в связи с тем, что основная часть валового выброса этого ингридиента приходится на надежно учитываемые в статистической отчетности промышленные объекты. Доля автотранспорта и мелких источников, выбрасывающих SO_2 , обычно невелика. По конкретным значениям c_ϕ и c из (4.49) были рассчитаны коэффициенты вариации для массивов измерений в рассматриваемых городах и определены вероятности появления фактически наблюдаемых значений максимальных концентраций $c_{\text{макс}}$.

В табл. 4.4 приводятся концентрации SO_2 , рассчитанные по ОНД-86 для промышленных объектов в точках городов, отвечающих расположению стационарных пунктов наблюдения (СПН) Гидрометеослужбы, статистически обработанные результаты измерений на СПН, а также соотношение полученных значений.

Как видно из таблицы, расчетные значения c превышают максимальные измерения $c_{\text{макс}}$ в среднем в 2 раза. Если учесть, что $c_{\text{макс}}$ обусловлена всеми источниками города и в том числе не охваченными расчетом, фактические превышения еще выше. Для вероятностных явлений, подчиняющихся законам случайности, отношения $c/c_{\text{макс}} = 0,4 \div 7,6$.

Как видно из столбцов 8 и 9, в среднем вероятность того, что единичное измеренное значение c_i окажется выше $c_{\text{макс}}$, составляет около 2%, а чем выше ожидаемое значение концентрации, тем реже оно, естественно, будет превышать. Поскольку вероятность отнесена к годовичному периоду, 2% означают общую продолжительность превышения максимальной измеренной концентрации ($c_{\text{макс}}$) около 174 ч, а 1% — 87 ч превышения расчетной концентрации c .

Если учесть, что для фоновой концентрации, по определению, вероятность превышения $P(c_i > c_\phi)$ составляет 5%, становится естественным, что расчетная концентрация c их 1%-ной вероятностью превышает фоновые примерно в 3 раза, хотя по сути дела степень загрязнения атмосферы с позиции реципиента остается одинаковой.

Для СПН № 4 города Б, СПН № 1, 3, 4 города В и СПН № 1, 2, 3, 4, 6, 8, 9 города Г, в частности, следует, что «законно» сосуществуют парадоксальные ситуации, когда для одной и той же точки города расчетная подфакельная концентрация выше ПДК_{м.р.}, а фон ниже ПДК_{м.р.} Более того, формально в случае СПН № 4 города Б выбросы можно наращивать, хотя среднегодовая концентрация уже в 2 раза превышает среднесуточные ПДК.

Таблица 4.4. Сопоставление измеренных и расчетных концентраций

Город	СПН	Расчетная максимальная концентрация c_3 , мг/м ³	Измеренные концентрации			Статистическая обработка			Соотношения		
			Средняя c , мг/м ³	Фоновая $c_{\text{ф}}$, мг/м ³	Максимальная $c_{\text{макс}}$, мг/м ³	Вариация v	Вероятность P , %		$c/c_{\text{ф}}$	$c/c_{\text{макс}}$	$c_{\text{макс}}/c$
							$c_i > c_{\text{макс}}$	$c_i > c$			
А	1	0,41	0,032	0,21	0,21	0,65	5	—	1,95	1,95	—
	2	0,29	0,033	0,2	0,6	0,77	—	—	1,47	0,49	—
	3	0,38	0,031	0,18	0,18	0,57	—	—	2,13	2,13	—
	4	0,35	0,028	0,19	0,24	0,62	—	—	1,82	1,44	—
Средняя			0,031	—	—	0,65	3	1,7	1,84	1,5	8,07
Б	1	0,27	0,1	0,27	0,57	0,94	—	—	1	0,47	—
	2	0,35	0,1	0,4	0,71	—	—	—	0,875	0,49	—
	3	0,43	0,1	0,3	0,6	—	—	—	1,43	0,72	—
	4	2,02	0,11	0,35	0,59	—	—	—	5,77	3,42	—
	5	0,3	0,09	0,4	0,66	—	—	—	0,75	0,46	—
	6	0,41	0,12	0,3	0,62	—	—	—	1,37	0,66	—
	7	0,16	0,11	0,4	0,6	—	—	—	0,4	0,27	—
Средняя			0,104			1,57	1,5	1,4	1,7	0,9	6,0
В	1	0,65	0,03	0,17	0,36	—	—	—	3,86	1,82	—
	2	0,44	0,03	0,17	0,38	—	—	—	2,59	1,16	—
	3	1,11	0,03	0,23	0,29	—	—	—	4,83	3,83	—
	4	1,06	0,03	0,27	0,49	—	—	—	3,93	2,16	—
	5	0,38	0,03	0,17	0,31	—	—	—	2,21	1,21	—
Средняя			0,03			1,32	1,3	2	3,48	2,04	11,2
Г	1	0,68	0,03	0,26	0,38	—	—	—	2,61	1,79	—
	2	2,45	0,03	0,21	0,32	—	—	—	11,6	7,65	—
	3	1,68	0,04	0,25	0,47	—	—	—	6,72	3,57	—
	4	0,69	0,03	0,22	0,38	—	—	—	3,1	1,8	—
	5	0,15	0,03	0,21	0,29	—	—	—	0,7	0,51	—
	6	0,51	0,03	0,24	0,35	—	—	—	2,13	1,46	—
	7	1,55	0,03	0,27	0,26	—	—	—	5,74	5,96	—
	8	0,95	0,05	0,29	0,26	—	—	—	3,26	3,63	—
	9	1,19	0,03	0,23	0,49	—	—	—	5,19	2,42	—
Средняя			0,333	0,24	—	0,93	2	0,02	4,56	3,2	10,3
Средняя по всем городам						1,2	2	1	3	2	8,9

Сопоставление расчетных подфакельных и измеренных на СПН концентраций дает корреляционный коэффициент 0,2.

Описанное несоответствие возможно только при крайне малой продолжительности действия рассчитанной по ОНД-86 концентрации.

Из сказанного следует, что признание благополучной атмосферы в городе с $c_{\text{ф}} \leq \text{ПДК}_{\text{м.р}}$ означает, что для реципиента, находящегося в зоне действия одиночного изолированного источника, точно такие же гигиенические условия будут иметь место при $c_{\text{р}} \leq 3 \text{ ПДК}_{\text{м.р}}$.

Другое дело, что при проектировании изолированного источника должен быть введен коэффициент запаса на расширение или сооружение новых объектов, однако это уже вопрос компетенции планирующих органов, а не формального нормирования.

Правомерность распространения изложенных выше закономерностей на другие города косвенно подтверждается тем, что соотношение $c_{\text{макс}}/c$, равное в нашем случае 8,9 (см. гр. 12 табл. 4.3), справедливо для большинства городов.

Каждое согласование является единичным актом, что побуждает проектировщиков в интересах сокращения стоимости воздухоохраных мероприятий использовать все имеющиеся в городе экологические запасы атмосферы в рамках данного конкретного объекта.

Решение на ввод нового объекта дается региональными подразделениями Госкомприроды СССР. При этом не проводятся расчеты концентраций от выбросов автотранспорта и воздействия на них градостроительных решений.

При ведомственной разобщенности его, в конечном счете, приводит к удорожанию воздухоочистных систем города в целом и дает преимущество тем, кто согласует проект раньше.

Представляется более целесообразным, чтобы долговременное планирование состояния атмосферы вели ответственные за весь комплекс промышленных и социальных проблем городские ответственные перед Советами плановые органы, которые бы выдавали квоты отраслей по разрешенным им долям фона или концентрациям, включая сюда городской резерв развития таким образом, чтобы сумма квот на перспективу не превышала ПДК_{м.р.} Разумеется, такое планирование должно быть долговременным, так как сиюминутный эффект в дальнейшем обернется существенным удорожанием комплекса.

4.5. Расчеты приземных концентраций на ЭВМ

Проектирование, разработка ПДВ, анализ состояния загрязнения атмосферы, обоснование планов ее оздоровления требуют выполнения расчетов полей концентраций, обусловленных от нескольких единиц до сотен и тысяч источников. Сделать это вручную просто невозможно, и на помощь приходят современные ЭВМ с их программным обеспечением. Наибольшее распространение получили программы типа ЭФИР, УПРЗА, охватывающие от 500 до 1000 источников. Надо иметь в виду, что органы Госкомгидромета и Минздрава в качестве официального документа рассматривают только расчеты, выполненные по программам, в установленном порядке согласованным с Главной геофизической обсерваторией им. А. И. Воейкова.

Реально в крупном городе или промышленном районе число источников достигает многих десятков тысяч, так как сюда входят автомобили и самые различные нагревательные устройства. Для сокращения числа вводимых в ЭВМ источников используется ряд приемов их объединения. Вместо отдельных автомашин рассматривается линейный источник автомагистраль с заданной интенсивностью движения (ед/ч), классификацией по видам транспорта и отвечающим им удельным выбросам, г/(км·с), т. е. отнесенным к типу, мощности двигателя с конечным выходом на полный выброс всей автомагистрали. Заводы с мелкими источниками, выбросы автотранспорта внутри кварталов и на слабо

нагруженных улицах, дома с печным отоплением и другие ситуации приводятся к площадным источникам. Объединяются относительно крупные однородные единичные источники. Само объединение может осуществляться вручную (см. разд. 3) или по отдельной программе на ЭВМ.

Наиболее совершенные программы позволяют решать следующие основные задачи:

определение поля концентраций от одного или от совокупности источников при заданных направлении и скорости ветра;

определение опасной скорости ветра совокупности источников, т. е. такой скорости, при которой обусловленные этой совокупностью концентрации достигнут максимума;

автоматический перебор всех направлений ветра с целью выявления отвечающих заданным точкам поверхности максимальных концентраций;

выявление основных вкладчиков в формирование приземных концентраций.

Исходными данными для расчета концентраций являются итоги инвентаризации выбросов и атмосферные характеристики региона.

Существенно важно знать, что программы, так же как и их базис ОИД-86, позволяют рассчитать, если это необходимо, концентрации и потоки вредных выбросов: водяных паров, углекислого газа и т. д.

Пользование программами не требует знания программирования и ЭВМ, однако требует некоторых специальных навыков и приемов, сущность которых и рассматривается ниже на примере разработанной Новокуйбышевским филиалом «Гипрокаучука» программы ЭФИР-4 для ЭВМ серии ЕС.

В обязанности пользователя входит заполнение исходных данных в предоставляемые программе табл. 4.4. Заполняя таблицы, надо знать, что цифры, проставленные в одной и той же позиции, могут иметь как физический смысл, так и являться кодом к определенным операциям. Нарушение правил хотя бы по одной позиции делает расчет невозможным.

Ниже даны комментарии к заполнению этих таблиц, учитывающие наиболее характерные для пользователей вопросы.

Описание объекта расчета (табл. 4.5). Общее число задаваемых источников не должно превышать 500 единиц. Однако при этом за единицу считается и источник, полученный в результате объединения: автомагистраль, цех и т. д.

Т а б л и ц а 4.5. Объект расчета

1	Регистрационный номер задания
2	Наименование объекта
3	Общее число источников
4	Скорость ветра, м/с
5	Число расчетных скоростей ветра 20
6	Шаг перебора направления ветра, град
7	Число расчетных площадок 30
8	Допустимая концентрация, % ПДК
9	Признак Р1 устройства для печати карты
10	Географическая широта местности, град
11	Районный коэффициент А
12	Температура воздуха, °С
13	Признак Р2 учета рельефа
14	Признак Р3 выдачи результатов (особенности машины)

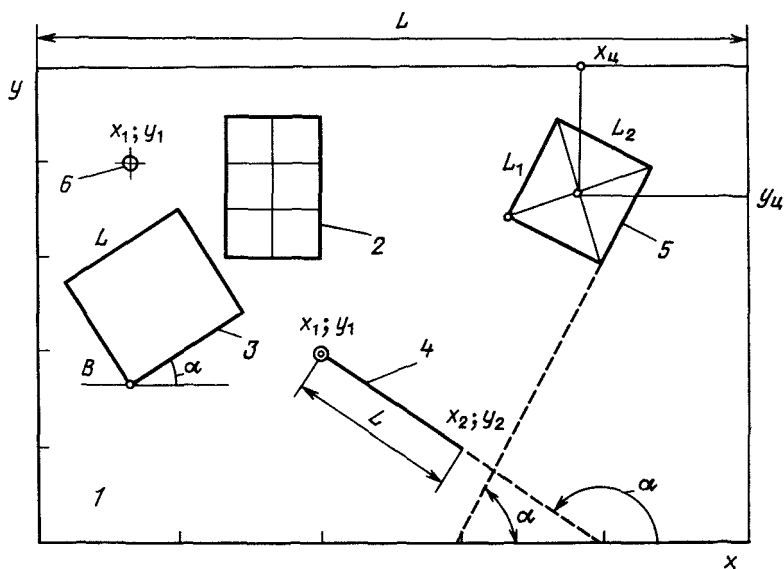
Скорости ветра и их число (строки 4 и 5) заполняются взаимозависимо. При этом возможен один из трех вариантов заданий скоростей:

Вариант	I	II	III
Скорость ветра	u	0	u
Число расчетных скоростей	0	a	b

- I. Вместо u записывается конкретное значение скорости, например 4 м/с, которое используется в расчете. В строке 5 проставляется 0.
 - II. Символ a предусматривает комбинации скоростей: $a=1$ означает, что расчет будет выполняться только для опасной скорости $u_{оп}$, $a=2$ при $u_{оп}$ и $0,5 u_{оп}$; $a=3$ при $1u_{оп}$; $0,5u_{оп}$ и $1,5u_{оп}$ и т. д.
 - III. К скоростям, кратным $u_{оп}$, в соответствии с символикой II добавляется скорость, заданная пользователем. На печать выводится максимальное из полученных при разных скоростях ветра значение концентраций.
- Следует иметь в виду, что увеличение числа задаваемых скоростей сопровождается дополнительной затратой машинного времени и должно быть мотивировано.

Шаг перебора направлений ветра (6). Выявляя максимум концентраций, ЭВМ способна перебирать любое число направлений ветра. Если истинный максимум лежит внутри шага, значение, выдаваемое на печать, окажется немного заниженным. Поэтому теоретически шаг следовало бы уменьшить. Однако при этом возрастает продолжительность счета. В результате оптимальным по длительности и точности считают шаг в $5-10^\circ$.

Число расчетных площадок (7). Всего машина может рассчитать до 30 площадок. На рис. 4.9 показано совмещение пяти площадок. Автомагистраль



Вис. 4.9. Размещение площадки на Геплане

4 рассчитывается как частный случай площадки с шириной, равной нулю ($B=0$).

Допустимая концентрация (8). Под этим термином понимается выраженный в процентах ПДК уровень, ниже которого машина счет прекращает. Если этого ограничения нет, записывается 0.

Географическая широта (10) учитывает вызванные кориолисовыми силами смещения воздушных потоков. Для точечного источника ее влияние несущественно, для плоскостного значительно.

Районный коэффициент (11), это коэффициент A в (3.1) и табл. 3.1.

Температура воздуха (12) принимается по условиям задачи.

Признак учета рельефа (13) показывает степень неровности местности, для которой ведется расчет. При перепаде высот местности не более 50 м на 1 км коэффициент рельефа принимается равным 1, в иных случаях эту величину следует запрашивать в ГГО им. А. И. Воейкова.

Признак РЗ выдачи результатов (14) отражает специфику конкретной ЭВМ и записывается принятым на ней символом, то же относится к признаку устройства для печати карты Р1 (9).

Т а б л и ц а 4.6. Параметры расчетных площадок

$N_{г.п}$	X	Y	L	B	DL	DB	C	C_1	$M_{г.п}$

Параметры расчетных площадок (табл. 4.6). Примерный вариант совместно рассчитываемых площадок показан на рис. 4.9. Площадки на генплане обозначаются порядковым номером $N_{г.п}$ (на рисунке это номера 1- 5). Под опорной вершиной понимают крайнюю левую нижнюю точку площадки, на рисунке они обведены кружком. X и Y координаты опорной вершины большой площадки 1 могут быть приняты в системе координат местности или приняты равными нулю. Координаты остальных площадок также привязываются к местности или, если для большой площадки $X=Y=0$, отсчитываются в координатах большой площадки.

Наметив длину L и ширину B расчетных площадок, задаются соответствующими шагами сетки DL и DB таким образом, чтобы длина и ширина делились на целое число шагов. При распечатке результаты расчета будут привязаны к узлам (пересечениям) сетки. Поэтому чем меньше шаг, тем выше информативность, но больше затраты машинного времени. При отсутствии опыта можно рекомендовать шаг, равный 5-10 высотам трубы.

C угол между полусью OX и длиной L , отсчитываемый против часовой стрелки. град (рис. 4.9). В метеорологии такое направление называют западным. Надо иметь в виду, что в метеорологии отсчет ведут от севера, при этом именуют ветер по источнику: северный— это ветер с севера и соответствующий вектор направлен вниз!

C_1 —отсчитываемое таким же способом, т. е. от оси OX против часовой стрелки, направление ветра (град) или признак 999, означающий режим счета с перебором направлений ветра в каждой расчетной точке.

МГП— масштаб генплана, по которому будет построена карта рассеивания. Указывается количество метров в 1 см плана.

Т а б л и ц а 4.7. Характеристика источников

Номер источника	H	$D(w_0)$	V_1	T_2	P_N	$X_1(X_u)$	$Y_1(Y_u)$	$X(L_1)$	$Y_2(L_2)$	α
1						X_u	Y_u	L_1	L_2	α
2						X_1	Y_1	X_2	Y_2	444
3						X_1	Y_1	0	0	444
⋮										
n										

Характеристики источников (табл. 4.7). $N_{ист}$ присвоенный источнику номер, обычно это его порядковый номер в той или иной инвентаризации; H —высота источника дымовой трубы, м; D —диаметр устья точечного источника, м; w_0 — скорость выхода газозвоздушной смеси, м/с, для плоского и линейного источников; V —объем газозвоздушной смеси или дымовых газов при температуре T_1 , м³/с; P_N —коэффициент рельефа η , определяемый по разд. 3, эта графа заполняется только в том случае, если в табл. 4.4 признак учета рельефа равен нулю.

Положение источников на генплане определяется следующим образом.

Для плоского прямоугольного источника задаются координаты центра плоскости X_u , Y_u , ее длина L_1 и ширина L_2 , а также угол α (град) между осью OX и стороной L_1 (рис. 4.9). В табл. 4.5 плоский источник занесен под № 1.

Линейный источник (№ 2) фиксируется координатами концов отрезков X_1 , Y_1 и X_2 , Y_2 и условным кодовым углом $\alpha=444$.

Точечный источник (№ 3) фиксируется своими координатами X_1 , Y_1 и условным кодовым углом $\alpha=444$. X_2 и Y_2 для точечного источника равны нулю.

Характеристика выбросов по составу (табл. 4.8). Наименование вещества может записываться словами (диоксид азота, сернистый газ) или химическими символами (NO_2 , SO_2); m — количество веществ, образующих группу суммации, но не более 5. Для дымовых газов ТЭЦ, содержащих SO_2 , NO_2 , золу, бенз(а)пирен, суммации подлежат только SO_2 и NO_2 , $m=2$. При сжигании природного газа, когда единственным токсичным компонентом является NO_2 , следует записать $m=1$.

Таблица 4.8. Характеристика выбросов по составу

m	Наименование вещества	ПДК	C_{ϕ}	F	n	$N_{\text{ист}}$	$M_{\text{ист}}$

ПДК задается в мг/м^3 . При отказе от построения карты перед величиной ПДК ставится «—»; C_{ϕ} — фоновая концентрация (мг/м^3), при отсутствии фона проставляется 0; F — коэффициент оседания токсичного вещества из факела. Для газообразных веществ $F=1$. Для золы топлива F подсчитывается по данным разд. 3. При наличии нескольких источников с разными значениями F поле концентрации золы рассчитывают по правилам суммации, полагая, что разным F соответствуют равные вещества. Если перед F одной из зол поставить символ «—», то кроме расчета для группы будет произведен отдельный расчет и для этой золы; n — число источников, выбрасывающих в атмосферу данное вещество; $N_{\text{ист}}$ — присвоенный источнику номер (тот же, что и в табл. 4.8.3); $M_{\text{ист}}$ — расход токсичного вещества из источника, г/с. Если исследуется рассивание веществ безвредных, форма счета не меняется. При $n>1$ заполняются только графы $N_{\text{ист}}$ и $M_{\text{ист}}$.

Раздел пятый

САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ (ПДК) ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОЗДУХЕ

5.1. БИОЛОГИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ПОНЯТИЯ ПДК И КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТОДАХ ИХ УСТАНОВЛЕНИЯ. НОРМАТИВНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПДК

5.1.1. Предельно допустимые концентрации длительного действия

В 1951 г. у нас в стране были утверждены ПДК для 10 наиболее распространенных атмосферных загрязнителей. Это были первые в мире нормативы качества воздуха, введенные работами проф. В. А. Рязанова и его последователей К. А. Буштуевой, М. А. Пинигиным и др. Исследованиями этих ученых [17] было обосновано, что при обнаружении загрязнения атмосферного воздуха недостаточно знать, какие это вещества и каковы их концентрации, необходимо еще оценить, насколько обнаруженные концентрации превышают допустимый предел. Роль «масштаба», с помощью которого выполняется такая оценка, играют ПДК атмосферных загрязнений. Согласно закону «Об охране атмосферного воздуха» гигиенические нормативы ПДК

атмосферных загрязнений являются основой регулирования качества атмосферного воздуха населенных мест.

О принципах установления ПДК было высказано три точки зрения. Так, предполагалось считать нормой лишь тот состав воздуха, который наблюдается в естественных природных условиях, не загрязненных деятельностью человека. Эта точка зрения была отвергнута, так как нет оснований считать, что любое отклонение от среднего состава атмосферного воздуха имеет отрицательное значение.

Предполагалось устанавливать ПДК атмосферных загрязнений с учетом их практической достижимости на данном уровне техники. Такой подход был также отвергнут, так как технически достижимые концентрации лишь случайно могут совпасть с безвредными для человека и в связи с этим не гарантируют население от неблагоприятного действия атмосферных загрязнений.

В основу нормирования была положена концепция В. А. Рязанова, сущность которой сводится к трем положениям.

Допустимой может быть признана такая концентрация загрязнителя в атмосферном воздухе, которая не оказывает на человека прямого или косвенного вредного и неприятного действия, не снижает его работоспособности, не влияет на его самочувствие или настроение.

Привыкание к загрязнителям атмосферного воздуха должно рассматриваться как неблагоприятный эффект и доказательство недопустимости такой концентрации.

Недопустимыми являются также концентрации загрязнителей атмосферы, неблагоприятно влияющие на растительность, климат местности, прозрачность атмосферы и бытовые условия жизни населения.

Последнее положение пока еще, к сожалению, нормированием не реализовано.

Некоторые загрязнители атмосферы обладают запахом и оказывают раздражающее действие на слизистые оболочки верхних дыхательных путей. Такие свойства их должны нас интересовать лишь в случаях, если они вызываются концентрациями ниже пороговых по токсическому действию. Ощущение запаха или раздражающего действия, как правило, появляется в период кратковременного подъема концентраций. В связи с этим следует лимитировать уровни их пиковых, хотя и кратковременных, подъемов. При оценке ощущений запаха гигиенисты исходят из того, что любой раздражитель (приятный, неприятный) становится непереносимым, а иногда и патогенным, если он приобретает навязчивый, насильственный характер. Кроме наличия обонятельных ощущений (запах) и раздражающего действия, для обоснования ПДК изучаются различные рефлекторные реакции, возникающие в ответ на кратковременное вдыхание изучаемого загрязнителя. Опыт показывает, что рефлекторные реакции можно наблюдать и при концентрациях субсенсорного уровня.

При рассмотрении критериев вредного действия того или иного атмосферного загрязнителя необходимо оценивать и гигиеническое значение привыкания к нему. В токсикологии привыкание давно рассматривается как форма хронического отравления. Исчезновение первых признаков интоксикации или воздействия, необходимость повышения уровня концентрации для получения эффекта в условиях привыкания с гигиенической точки зрения должно повышать требовательность при обосновании ПДК атмосферных загрязнений. С учетом изложенных выше критериев вредности устанавливаются ПДК атмосферных загрязнений для двух периодов усреднения концентраций:

среднесуточная ПДК, которая является основной и служит для предотвращения хронического неблагоприятного действия;

дополнительная к среднесуточной ПДК для веществ, обладающих запахом или раздражающим действием, — максимальная разовая ПДК — для оценки пиковых подъемов концентраций в течение 20—30 мин. ПДК атмосферных загрязнений должны использоваться только для оценки степени загрязнения воздуха селитебных территорий и не должны применяться для оценки степени загрязнения воздуха промышленной площадки, санитарно-защитных зон. Для оценки загрязнения воздуха на территориях зоны санитарной охраны (ЗСО) курортов, мест массового отдыха населения (города с населением более 200 тыс.) используется 0,8 ПДК атмосферных загрязнений.

В соответствии с данными К. А. Бунтуевой [17] при обосновании ПДК действуют следующие основные принципы.

Любой химический загрязнитель атмосферы имеет порог действия. Целью изучения является нахождение пороговой и подпороговой концентраций. ПДК атмосферных загрязнителей устанавливается на уровне подпороговой.

Установленная ПДК должна защищать от неблагоприятного действия нормируемого загрязнителя каждого члена общества, а не «среднего» человека. В связи с этим нормирование ведется в расчете на наиболее ранимые группы населения, к которым следует отнести детей, лиц старшего возраста и ослабленных болезнью. Правомерность и необходимость использования такого принципа подтверждена случаями массовых отравлений населения в периоды токсических туманов, когда в основном заболевали дети, лица пожилого возраста и лица, страдающие хроническими заболеваниями.

В основу нормирования положен эксперимент. Использование экспериментального метода, позволяющего моделировать заданные условия и широко обобщать результаты с целью прогнозирования биологического действия атмосферных загрязнителей как при изолированном, так и комбинированном их влиянии, с методологической точки зрения более эффективно, чем использование метода наблюдения за здоровьем населения в условиях уже наступивших загрязнений атмосферы.

Установление среднесуточной ПДК_с базируется на изучении резорбтивного* действия вредного вещества в условиях круглосуточной экспозиции экспериментальных животных. Длительность экспозиции обычно составляет 3—4 мес, или 10—15% времени жизни белых крыс, на которых ведутся такие эксперименты. Метод требует использования лабораторных животных, результаты исследований на которых затем необходимо перенести на человека. Возникает ряд вопросов: насколько правомерен такой перенос, насколько совпадают или различаются пороги действия химических веществ для животных и человека, какой должен быть коэффициент экстраполяции? В этих условиях чрезвычайно важное значение приобретает проверка надежности установленных экспериментально ПДК в натурных исследованиях на населении, которые рассматриваются как обязательный второй этап нормирования. При нормировании атмосферных загрязнений среднесуточная ПДК устанавливается на подпороговом уровне. Практика выбора

* Действие, сопровождающееся длительными изменениями биологических параметров клетки и организма.

концентраций для заправки животных показывает, что подпороговая концентрация обычно бывает в 3 - 10 раз ниже пороговой.

Согласно [17] такой перенос результатов эксперимента не относится к веществам, являющимся мутагенами, аллергенами, канцерогенами либо оказывающим эмбриотропное действие.

Накопленные к настоящему времени результаты второго этапа нормирования свидетельствуют о надежности установленных в СССР ПДК атмосферных загрязнений и правомерности прямого переноса результатов эксперимента в реальные условия. Как показали наблюдения за состоянием здоровья статистически представительных групп населения, соблюдение ПДК атмосферных загрязнений не сопровождается какими-либо отклонениями в состоянии здоровья наиболее ранимых групп населения. Вместе с тем превышение ПДК в 2 - 4 раза вызывает изменения дыхательных функций, сдвиги в функциональном состоянии некоторых органов и систем у чувствительных групп населения, а превышение ПДК в 5 - 7 раз и более повышает заболеваемость населения.

Как известно, при действии любого вредного фактора можно различать спектр биологических ответов организма: смерть, болезнь, физиологические признаки болезни, функциональные сдвиги неясной биологической значимости, накопление загрязнителей или продуктов их метаболизма в органах и тканях. На рис. 5.1 приведена схема биологических ответов, заимствованная из материалов ВОЗ. При установлении безвредных уровней атмосферных загрязнений различают три зоны: 1-я зона - отсутствия действия фактора, получившая название подпорогового уровня; 3-я зона - зона токсического действия, когда регистрируются патологические изменения в организме, вызванные загрязнителем (т. е. болезнь или признаки болезни). Между двумя указанными зонами лежит 2-я зона сдвигов в организме пока неясной биологической значимости. Вероятно, появление таких сдвигов связано с защитно-приспособительными реакциями и свидетельствует об отклонении окружающей среды от биологического оптимума.

Треугольник в изображении спектров биологических ответов символизирует тот факт, что при воздействии одной и той же концентрации у разных групп населения (части населения) можно наблюдать разные ответы: от самых серьезных у наиболее чувствительных лиц (как правило, это небольшая часть населения) до отсутствия реакции на воздействие. Этот факт подтверждает необходимость учета и сдвигов пока неясной значимости для здоровья как свидетельства отклонения среды от биологического оптимума.

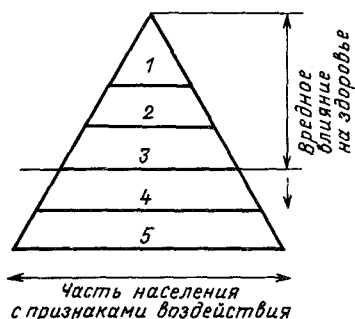


Рис. 5.1. Спектр биологических ответов на воздействие загрязнений: 1 - смертность; 2 - заболеваемость; 3 - физиологические признаки болезни; 4 - физиологические и другие сдвиги неясного значения; 5 - накопление загрязнителя в органах и тканях

В зарубежных странах нормативы устанавливаются на уровне 3-й зоны или между 2-й и 3-й, с чем и связаны более высокие уровни нормативов качества воздуха. Для иллюстрации в табл. 5.1 приведены национальные стандарты разных стран на примере нормирования среднесуточной концентрации диоксида серы.

Таблица 5.1. Стандарты нормирования среднесуточной концентрации диоксида серы

Страна	Норматив, мг/м ³	Примечание
СССР	0,05	Не должна превышать круглогодично
Чехо-Словакия	0,15	ПДК
Польша	0,35	ПДК для жилых зон
	0,075	ПДК для специальных зон
Румыния	0,25	ПДК
Нидерланды	0,075	Не превышать в 50% проб
	0,25	Не превышать в 98% как национальные стандарты при низких концентрациях дыма
Япония	0,1	Национальный стандарт
США	0,26	Федеральный стандарт
Болгария	0,05	ПДК
Франция	0,75	Для специальных зон Парижа
Швейцария	0,5	С 1 марта по 31 октября
	0,75	С 1 ноября по 28 -29 февраля
Югославия	0,15	ПДК
Швеция	0,25	Не должна превышать более 1 раза в месяц

Особое место занимает нормирование канцерогенных веществ. Из всех предполагаемых подходов к установлению допустимых уровней канцерогенов в окружающей среде разработка экспериментального направления оказалась наиболее плодотворной. В качестве ПДК канцерогена определена такая концентрация, которая не приведет к появлению бластомогенного эффекта при воздействии на организм в течение естественной продолжительности жизни. Методической основой нормирования канцерогенов явились следующие положения:

испытание различных доз канцерогена, включая диапазон минимально эффективной и максимально неэффективной, при условии наблюдения за животными в течение всей жизни;

математическое моделирование зависимостей доза – эффект и доза – время проявления эффекта;

прогнозирование вероятностного риска возникновения опухолей от воздействия малых доз канцерогена и оценка его на основе зависимости доза – время проявления эффекта;

экстраполяция допустимой дозы канцерогена с животных на человека и расчет ПДК в отдельных средах.

В частности, степень надежности установленных ПДК для бенз(а)пирена в атмосферном воздухе проверена в широких эпидемиологических исследованиях, результаты которых позволили сделать вывод, что концентрация этого вещества на уровне действующей среднесуточной ПДК не приводит к статистически значимому повышению риска заболеваний раком легкого.

Значения ПДК_{с.с.} для наиболее часто встречающихся веществ приведены в табл. 5.2, значения ПДК для рабочей зоны — в табл. 5.2.

Таблица 5.2. Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест

Номер	Вещество	ПДК, мг/м ³		Класс опасности
		максимальная разовая	среднесуточная	
1	Азота диоксид	0,085	0,04	2
2	Азота оксид	0,6	0,06	3
3	Аммиак	0,2	0,04	4
4	Ангидрид серный	0,5	0,05	3
5	Бенз(а)пирен		$0,1 \cdot 10^{-5}$	1
6	Бензин (исфтяной малосернистый в пересчете на углерод)	5	1,5	4
7	Бензин сланцевый (в пересчете на углерод)	0,05	0,05	4
8	Бензол	1,5	0,1	2
9	Взвешенные вещества. Недифференцированная по составу пыль (аэрозоль), содержащаяся в воздухе населенных пунктов*	0,5	0,15	3
10	Водород хлористый по молекуле HCl	0,2	0,2	2
11	Железа оксид в пересчете на железо	—	0,04	3
12	Железа сульфат в пересчете на железо	—	0,007	3
13	Кислота азотная по молекуле HNO ₃	0,4	0,15	2
14	Кислота серная по молекуле H ₂ SO ₄	0,3	0,1	2
15	Магния оксид	0,4	0,05	3
16	Соединения ртути в пересчете на ртуть		0,0003	1
17	Озон	0,16	0,03	1
18	Пыль неорганическая, содержащая более 70% оксида кремния (диас и др.)	0,15	0,05	3
19	То же от 70 до 20% (шамот, цемент)	0,3	0,1	3
20	То же ниже 20% (доломит и др.)	0,5	0,15	3
21	Сажа	0,15	0,05	3
22	Сероводород	0,008	—	2
23	Углерода оксид	5	3	4
24	Фенол	0,01	0,003	2
25	Фенолы сланцевые	0,007	—	3
26	Кальция оксид (ориентировочно безопасный уровень воздействия)	0,3	—	—

* Не распространяется на аэрозоли органических и неорганических соединений, для которых устанавливаются соответствующие ПДК.

Таблица 5.3. Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны

Номер	Вещество	ПДК, мг/м ³	Агрегатное состояние	Класс опасности
1	Азота оксиды в пересчете на NO ₂	2	П	3
2	Аммиак	25	П + а	4
3	Бензин топливный (сланцевый, крекинг и др.) в пересчете на углевод	100	П	4
4	Бензол	5 +	П	2
5	Дым пентактида ванадия	0,1	а	1
6	Пыль три- и пентактида ванадия	0,5	а	2
7	Пыль ванадийсодержащих шлаков	4	а	3
8	Возгоны каменноугольных смол и псков при среднем содержании в них бенз(а)пирена, %:			
	0,075	0,2	П	2
	0,075 0,15	0,1	П	1
	0,15 0,3	0,05	П	1
9	Германий и его оксид	2	а	3
10	Гидразин-гидрат, гидразин и его производные	0,1 +	П	1
11	Каменный уголь с содержанием свободного диоксида кремния до 5%	10	а	4
12	Нефть сырая	10	а	3
13	Озон	0,1	П	1
14	Ртуть металлическая	0,01	П	1
15	Серная кислота, серный ангидрид	1	а	2
16	Сернистый ангидрид	10	П	3
17	Сероводород	10 +	П	2
18	Углеродная и угольная пыль с содержанием свободного диоксида кремния от 5 до 10%	4	а	4
19	Шамот каолиновый	6	а	4
20	Щелочи едкие (растворы) в пересчете на NaOH	0,5	а	2

Аэрозоли преимущественно фиброгенного действия

1	Алюминия оксид (в том числе с примесью диоксида кремния) в виде аэрозоля конденсации	2		4
2	Доломит	6	—	4
3	Зола горючих сланцев	6	—	4
4	Известняк	6		4
5	Магнезит	10	—	4
6	Сажь черные промышленные с содержанием 3,4-бенз(а)пирена не более 35 мг/кг	4	—	4
7	Асбест природный и искусственный	2	—	4
8	Асбестоцемент	6		4
9	Стеклопное и минеральное волокно	4	—	4
10	Цемент, глина	6	-	4

Примечание. «а» — вещество находится в форме аэрозоля, «П» — пара. Знак + означает, что вещество опасно и при поступлении через кожу.

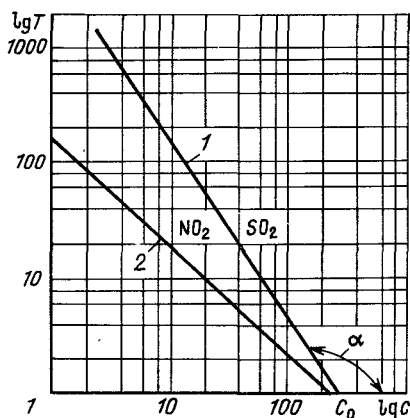


Рис. 5.2. Зависимость «концентрация—время» ограничивающих тестов сернистого газа (1) и оксида азота (2)

Как уже указывалось, эксперимент отражает безопасную или сопряженную с различным уровнем отклонениями биологических тестов концентрацию. Из общих представлений естественно ожидать, что при повышении воздействующих на животных концентраций срок безопасной ингаляции или наступления таких же изменений будет сокращаться. Исследования М. А. Пинигина [18] с соавторами показали, что зависимость «концентрация—время» аппроксимируется по предложенному в XIX в. Паретто уравнению

$$c = c_0 / T^k, \quad (5.1)$$

где T —период времени до наступления статистически достоверных изменений ограничивающего биологического теста, ч; c —концентрация, действовавшая в течение времени T , мг/м³; c_0 и k —параметры, зависящие от вида токсичного газа и теста.

Как и всякая аппроксимация, уравнение (5.1) не имеет биологического смысла для коротких и очень продолжительных периодов. Зависимость (5.1), построенная в логарифмических координатах, имеет форму прямой линии (рис. 5.2) и аппроксимируется уравнением

$$\lg c = \lg c_0 + \operatorname{ctg} \alpha \lg T. \quad (5.2)$$

Входящий в уравнения параметр c_0 представлен на графике точкой пересечения прямой с осью абсцисс. Там же показан способ отсчета угла α . Как показали специальные исследования, для оксида серы $c_0 = 250$, $\alpha = 125^\circ$ и $\operatorname{ctg} \alpha = -0,48$.

Выше с незначительными редакционными изменениями была изложена концепция ПДК, представленная в [17]. Позволим себе высказать соображения с позиций пользователей. ПДК_{с.с.}, являясь результатом 2—3-месячной экспозиции животных, называется среднесуточной. На практике, как это рекомендует Р. С. Гильденксиольд, эту величину рассматривают как ПДК среднегодовую. Из законов статистики очевидно, что равенство среднегодовой концентрации и ПДК_{с.с.} неизбежно влечет за собой превышение отдельных среднесуточных концентраций ПДК_{с.с.} и наоборот, обеспечение среднесуточных

концентраций на уровне ПДК_{с.с.} равносильно введению среднегодовой ПДК в несколько раз ниже ПДК_{с.с.}. Официальных разъяснений этой терминологической неадекватности Минздрав не дает.

По утверждению ведущих гигиенистов страны, несмотря на широкую практическую реализацию существующих принципов гигиенического нормирования канцерогенов (из текста ясно, что это распространяется и на неканцерогены), теоретические основы этой проблемы и ее методология продолжают широко обсуждаться в литературе. Это прежде всего относится к концепциям «беспороговости», «недопустимости реализации риска», «польза – вред», «оправданный риск» и др. Следует подчеркнуть, что все эти концепции противоречат основному подходу, принятому в СССР, при обосновании ПДК вредных веществ с учетом критерия «безвредности» и «превалирования медицинского аспекта».

Гуманистическая неуязвимость этого утверждения оставляет за кадром гигантские материальные ресурсы, необходимые для выхода на ПДК, «безвредные» для всех слоев населения. Думается, что такая позиция, при всей ее привлекательности, должна быть уточнена численными социологическими и экономическими исследованиями. Ориентация на «наиболее чувствительных лиц» без их численной статистической оценки вряд ли соответствует интересам общества в целом.

И последнее, ПДК_{с.с.} не фигурируют в нормативных документах по проектированию новых объектов, установлению ПВД и оценкам уровня загрязнения городов и промышленных районов. Для целей нормирования используются только ПДК_{м.р.}

5.1.2. Предельно допустимые концентрации, максимально разовые

Нормирование содержания вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест основывается прежде всего на экспериментальном определении порога их обонятельного ощущения. Величины эти получили наименование максимально разовых предельно допустимых концентраций ПДК_{м.р.} и нормируются по рефлекторным реакциям, преимущественно по запаху [15]. Вещества, обладающие запахом или раздражающим свойством, исследуются на добровольцах в условиях краткосрочных опытов с целью определения порога запаха, раздражающего и рефлекторного действия. Эти исследования выполняются в условиях «слепого» опыта с использованием специальных установок с динамическим дозированием изучаемых веществ в цилиндры, через которые доброволец свободно дышит. Для изучения рефлекторного действия используются также методы, позволяющие регистрировать сдвиги в функциональном состоянии центральной нервной системы (ЦНС). Чувствительным методом регистрации таких сдвигов является изучение биопотенциалов коры головного мозга. С помощью электроэнцефалографии было показано, что рефлекторные реакции, появляющиеся при концентрациях, близких к пороговым, протекают по типу ориентировочного рефлекса. В результате исследований на добровольцах устанавливаются пороговые и подпороговые концентрации. Для обоснования ПДК учитываются не средние пороговые и подпороговые концентрации для группы, а концентрации для наиболее чувствительных лиц.

Результаты изучения резорбтивного действия на животных используются для обоснования среднесуточной концентрации, а исследования на добровольцах — для установления максимально разовых ПДК. При их обосновании используется принцип «узкого места» или лимитирующего показателя.

Представляется целесообразным кратко изложить принципы определения и «физическое содержание» понятия ПДК_{м.р} [15]. Были проанализированы материалы по определению порога запаха около 80 веществ, что послужило основой к установлению их максимально разовых ПДК в атмосферном воздухе. Порог обонятельного ощущения изучали минимально на 11–12 и максимально на 25–30 волонтерах. Число исследованных концентраций, в которое входила пороговая и подпороговая по неспецифическому запаху, было также различно и составляло от 3 до 12. Диапазон указанных концентраций, включая несколько первых со 100%-ными положительными ответами, колебался от 2 до 20 и в отдельных случаях до 25–35 раз. При ограничении диапазонов исследованных концентраций, например минимальным 100%-ным положительным ответом и минимальной (подпороговой по неспецифическому запаху) концентрацией из общего числа изученных, видим, что он составляет от 2 до 6 раз.

Если проанализировать распределение порогов запаха всех участков по группам, окажется, что в зависимости от чувствительности к запаху исследованного вещества, его выраженности может быть от 2 до 7 групп. Пороги запаха которых различаются в 1,1–2, а иногда в 3–4 раза. На базе полученного материала был сделан вывод, что уровни порогов специфического запаха анализируемых веществ укладываются в промежуточные значения между минимальным 100%-ным положительным ответом для всех участников и порогом неспецифического запаха для группы наиболее чувствительных лиц, эти значения могут различаться максимально в 3–7 раз. Пороговые концентрации по специфическому и неспецифическому запахам по группам лиц различаются в 40% случаев в 1,05–1,25 и в 45% случаев в 1,26–1,5 раза (преимущественно в 1,1–1,5 раза), иногда максимально в 2,6–3 и 3,6–4 раз (ацетофенон и пиридин).

Способность обонятельного анализатора различать предъявляемые концентрации определяется значением перехода от одной концентрации к другой, который составляет 1,25–2,5 (чаще 1,5). Следует учитывать, что используемые современные химические методы выявления веществ в атмосферном воздухе позволяют определять концентрации веществ с точностью $\pm(10–25)\%$.

В экспериментальную установку, состоящую из двух смесителей и двух нюхательных цилиндров объемом около 1 л каждый, подается наружный очищенный воздух со скоростью 20 л/мин. В один из цилиндров с помощью переключения кранов вводят вещество исследуемой концентрации. В соответствии с требованиями статистической обработки, предъявляемыми к выборке с минимальным объемом, подбирают 30–20 волонтеров, не имеющих изменений в состоянии органов обоняния и полости носа; добровольцы предварительно за 2–3 дня до начала исследований знакомятся с запахом исследуемого вещества.

Экспериментатор начинает свои исследования с явно «пахнущей» концентрации, которая безошибочно с одного-двух вдохов определяется или всеми, или не менее чем 85% наблюдаемых.

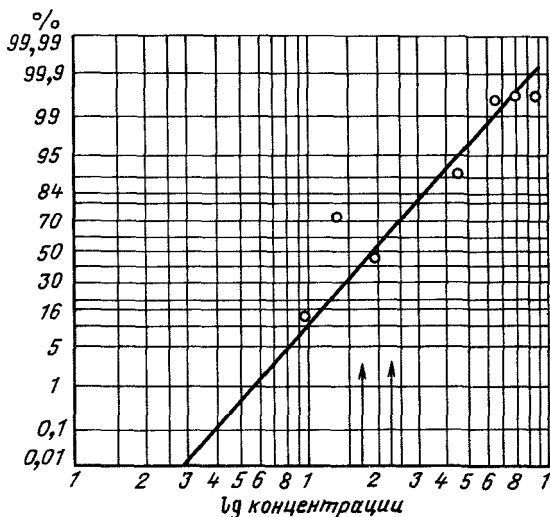


Рис. 5.3. Графическая обработка результатов исследований порога запаха мезидина

Если на предъявляемую концентрацию получено в первый день 100% правильных положительных ответов, то переходят к исследованию второй концентрации, которая примерно в 1,5 раза ниже первой.

При получении положительных ответов у всех лиц в пределах 85–20% результаты определений обрабатываются графическим методом пробит-анализа (рис. 5.3).

Графическую обработку материалов производят следующим образом. Положительные ответы (%) всех участвующих в определении лиц наносят на ординату графика, которая является пробитами с соответствующими им значениями (%), исследуемые концентрации – на абсциссу, соответствующую на пробитной сетке логарифму концентраций. Описанная методика определения и графической обработки результатов исследования порогов обонятельного ощущения вещества позволяет получить объективные сопоставимые данные, что обуславливает повышение научной обоснованности и надежности принимаемых нормативов.

Вместе с тем методика не отвечает и не может отвечать на главный практический вопрос: какому уровню положительных ответов (%) должно соответствовать численное значение ПДК_{м.р.} Многие ведущие специалисты предлагают принимать за ПДК_{м.р.} концентрации, при которых положительный ответ даст 16% испытуемых. Однако эта точка зрения оспаривается другими специалистами.

Определение ПДК_{м.р.} как рефлекторного 20–30-минутного показателя не содержит указаний на допустимую частоту достижения и неизбежного по статистическим законам ее превышения. Между тем ясно, что при достаточно частом повышении 20–30-минутных концентраций даже до уровня ПДК_{м.р.} среднегодовые концентрации могут оказаться выше среднегодовых ПДК.

Опираясь на зависимость «концентрация · время» М. А. Пинигиным с со-трудниками была определена допустимая частота достижения ПДК_{м.р.}, а следовательно, и его неизбежного превышения [18].

Ниже приводится зависимость частоты превышений от отношения ПДК_{м.р.} к ПДК_{с.с} (под последней авторы понимают ПДК_{с.г}).

ПДК _{м.р.} /ПДК _{с.с}	20	10	6	4	2
Частота превышения, %	99,7	99	97	95	90

В тех случаях, когда вещество не обладает или обладает слабо выраженным рефлексорным действием, авторы [18] считают целесообразным для целей контроля качества атмосферного воздуха также устанавливать ПДК_{м.р.}, руководствуясь средним соотношением между разовыми и среднегодовыми концентрациями, равным 10. Из приведенных данных, в частности, следует, что для диоксида серы с отношением ПДК 0,5:0,05=10 превышение ПДК_{м.р.} возможно в 1% случаев.

Для диоксида азота с отношением ПДК 0,085:0,04=2 превышение допускается уже в 10% случаев.

Справедливости ради следует отметить, что авторы [18] избегают термина «превышения», пользуясь формулировкой «появление концентраций на уровне и ниже ПДК_{м.р.}». Как было показано в статистическом разд. 4, эта формулировка исотвратимо подразумевает превышение ПДК_{м.р.} в дополнительном к 100% числе случаев.

Хочется обратить внимание читателей на следующее обстоятельство. Словосочетание «предельно допустимая максимальная» ассоциируется с некоторым абсолютным пределом, превышение которого чревато серьезными последствиями.

Между тем, как это показано выше и записано в согласованных Минздравом «временных указаниях» [8], ПДК_{м.р.} таким пределом не являются и без вреда для населения могут превышать в зависящем от вида соединений числе случаев, например, в 5% случаев [8].

Существенно важно подчеркнуть, что указанные выше превышения ПДК распространяются только на обусловленные топливопотребляющими установками выбросы диоксида серы и оксидов азота, т. е. выбросы, концентрации которых подчиняются логнормальному закону распределения. Это положение ни в коем случае не может распространяться на залповые выбросы.

5.2. КОМПЛЕКСНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Все виды ПДК относятся к отдельным веществам. Между тем в атмосферном воздухе может присутствовать от одного до сотни токсичных соединений.

Проблема комбинированного действия химических веществ достаточно сложна. Ответная реакция организма на такое воздействие может развиваться по трем направлениям: усиление эффекта (синергизм), т. е. превышение реакции, вызванное действием каждого из веществ смеси; ослабление эффекта (антагонизм), т. е. ответная реакция будет меньше эффекта, вызванного

любым веществом смеси; независимое действие, когда ответная реакция будет соответствовать действию каждого отдельного вещества или ведущему из них.

Синергизм может характеризоваться простым суммированием, т. е. эффект удваивается при наличии двух веществ, утраивается при наличии трех веществ и т. д. Частным случаем суммирования эффекта является эффект неполной суммации. Наблюдаются случаи, когда эффект увеличивается больше, чем при простом суммировании. Такие случаи синергизма называют потенцированием эффекта.

Трудность оценки комбинированного действия состоит в том, что при разном уровне воздействующих концентраций ответная реакция может протекать по разному типу. Эти особенности комбинированного действия вызвали необходимость выполнения специальных исследований в диапазоне концентраций и для комбинации загрязнителей, наиболее часто встречающихся в атмосфере населенных мест.

Накопленный опыт свидетельствует, что комбинированное действие атмосферных загрязнений с одинаковым лимитирующим признаком, как правило, характеризуется эффектом простого суммирования. Поэтому предложено оценку комбинированного действия вести по формуле

$$\frac{c_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{c_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{c_n}{\text{ПДК}_n} = q.$$

Если сумма долей q обнаруженных концентраций, отнесенная к их ПДК, не превышает единицы, то степень загрязнения атмосферного воздуха с учетом суммации биологического действия загрязнителей не превышает гигиенических нормативов. В случаях потенцирования, которые пока распространяются только на хлор, принимают $q=0,8$.

Перечень смесей атмосферных загрязнений, для которых должна учитываться суммация биологического действия при совместном присутствии, внесен в санитарное законодательство и используется для гигиенической оценки степени загрязнения атмосферного воздуха на стадии предупредительного и текущего санитарного надзора. Под факелом изолированной газовой КЭС мы имеем дело только с оксидами азота. На изолированной мазутной КЭС к ним добавляются оксиды серы и на угольной — зола.

Надо иметь в виду, что в природе существуют угли с повышенным содержанием соединений хлора. То же относится к пока редкому для нас топливу — твердым бытовым отходам. В обоих случаях необходимо определять содержание хлора в отходящих газах.

В городах и промышленных районах с энергетическими объектами и развитой химической промышленностью этот список пополняется десятками наименований вредных, преимущественно органических, соединений.

Совместное присутствие конкретных сочетаний поименованных в нормативах Минздрава соединений лимитируется правилом суммации.

Однако беспредельное увеличение вредных веществ, не охватываемых правилами суммации, не может не оказывать влияния на качество атмосферного воздуха.

Актуальность проблемы оценки комбинированного действия химических соединений, загрязняющих окружающую среду, общезвестна. Достаточно

указать, что в реальных условиях химическое загрязнение является многокомпонентным. Многообразие состава смесей веществ обуславливает различие задач, которые приходится решать при оценке комбинированного действия. В одних случаях определяют наиболее опасные и ведущие компоненты сложных смесей, в других — тип комбинированного действия, в третьих — то и другое вместе и т. д. [14].

Определение характера (типа) комбинированного действия проводится прежде всего в тех случаях, когда компоненты смеси имеют гигиенические регламенты содержания в той или иной среде при изолированном поступлении в организм. Характер комбинированного действия учитывается при гигиеническом обосновании допустимого содержания смеси вещества в окружающей среде, оценке степени ее загрязнения, планировании и осуществлении природоохранных мероприятий. Оценка характера комбинированного действия весьма важна и для дальнейшего совершенствования единого гигиенического нормирования факторов окружающей среды, в частности для разработки методов установления их максимальной допустимой и определения реальной нагрузки воздействия на человека.

Несмотря на определенные достижения гигиены в решении проблемы оценки характера комбинированного действия химических соединений, современные потребности практики в научно обоснованных рекомендациях по указанным вопросам удовлетворяются далеко не полностью. По мнению многих исследователей, это связано прежде всего с методическими трудностями гигиенической оценки комбинированного действия вредных веществ, в связи с чем за последние годы предложено значительное число различных приемов оценки указанного действия.

Результирующий гигиенический эффект как величина, зависящая от многих причин (концентраций и доз, времени воздействия и др.), является недостаточно надежным количественным критерием для установленного типа (характера) комбинированного действия вещества. Главная трудность в том, что, как правило, кривая зависимости эффекта от уровня воздействия имеет S-образный характер. Согласно этой кривой, повышение концентрации (дозы) одного вещества или смеси веществ не ведет к пропорциональному увеличению эффекта, что может существенно искажать оценку характера (типа) комбинированного действия в зависимости от того, в какой области кривой выявляются изменения эффектов. В связи с этим можно полагать, что понятие «характер комбинированного действия» должно быть иным, чем приведенные выше, о чем свидетельствует и сама целевая установка гигиенической оценки характера комбинированного действия — обеспечение безопасной для здоровья человека окружающей среды при совместном присутствии в ней нескольких веществ. Указанная цель фиксирует внимание исследователей не на степени изменения эффекта при сохранении уровней веществ в окружающей среде, а на степени изменения этих уровней таким образом, чтобы все реакции организма оставались в пределах их «нормы». Следовательно, при гигиенической оценке характера комбинированного действия решающее значение имеет не степень изменения эффекта, а степень изменения изоэффективных или биологических эквивалентных концентраций (именно таковы ПДК) веществ в смеси по сравнению с таковыми при изолированном действии.

Таким образом, при формулировании понятия «характер комбинированного действия» следует иметь в виду не только возможную нелинейную зависимость эффекта от концентраций как отдельных веществ, так и смесей, но и саму цель гигиенической оценки этого действия. Поэтому представляется, что характер комбинированного действия отражает степень изменения токсичности и опасности (или токсикометрических параметров) веществ в смеси по сравнению с их изолированным действием.

Количественно характер комбинированного действия оценивается по тому, насколько должна измениться концентрация каждого вещества в смеси, чтобы их суммарная концентрация была изоэффективна определенной (среднесмертельной, пороговой) концентрации каждого вещества в отдельности при тех же сроках действия.

Излагаемые ниже инструктивно-методические рекомендации утверждены Минздравом СССР и предназначены для органов санитарно-эпидемиологических служб (СЭС) для гигиенической оценки загрязнения воздуха населенных мест [10].

Методика базируется на данных натурных стационарных и маршрутных 20-минутных измерений, осуществляемых службами Госкомгидромета, Минздрава или ведомств.

В качестве среднесуточной принимается среднесрифметическое значение концентраций, измеренных в течение суток, или из полученной при непрерывном отборе пробы в течение 24 ч.

Под среднemesячной понимается среднесрифметическое из среднесуточных концентраций за этот месяц. Под среднегодовой — среднее всех 365-суточных или 12-месячных усредненных концентраций.

Фактическое загрязнение атмосферы воздуха городов и населенных пунктов оценивается по 5-балльной шкале:

I — допустимое загрязнение; II — умеренное; III — слабое; IV — сильное; V — очень сильное.

Загрязнение I степени является безопасным для здоровья населения. При загрязнении II — V степеней вероятность возникновения неблагоприятных эффектов возрастает с увеличением степени загрязнения.

Результирующее загрязнение атмосферы при одновременном присутствии нескольких вредных веществ оценивается по так называемому комплексному показателю P , учитывающему характер комбинированного воздействия веществ и их класс опасности:

$$P = \sqrt{\sum K_i^2}.$$

Величина K_i представляет собой фактическое среднегодовое загрязнение атмосферы конкретным веществом i в долях среднесуточного ПДК (ПДК_{с.с.}), приведенное к биологическому эквиваленту 3-го класса опасности. Для получения этого значения вначале определяют кратность превышения веществом i его ПДК_{с.с.}:

$$K_i = c_i / (\text{ПДК}_{\text{с.с.}})_i.$$

Приведение K_i к 3-му классу опасности осуществляется по табл. 5.4 — 5.6. Для значений, отсутствующих в таблицах, предполагаются следующие формулы:

Таблица 5.4. Приведение кратности превышения ПДК веществ 1-го класса к таковому 3-го класса опасности

Фактическое превышение ПДК концентраций веществ 1-го класса K	Кратность превышения ПДК, приведенная к 3-му классу, K_{1-3}	Фактическое превышение ПДК концентраций веществ 1-го класса K	Кратность превышения ПДК, приведенная к 3-му классу, K_{1-3}
1,1	1,25	2,4	8,0
1,2	1,5	2,5	8,8
1,3	1,9	2,6	9,7
1,4	2,2	2,7	10,6
1,5	2,6	2,8	11,6
1,6	3,1	2,9	12,6
1,7	3,5	3	13,6
1,8	4	3,1	14,7
1,9	4,6	3,2	16
2	5,2	3,5	19,7
2,1	5,8	4	27
2,2	6,5	4,5	35,8
2,3	7,2	5	46

Таблица 5.5. Приведение кратности превышения ПДК веществ 2-го класса к таковому 3-го класса опасности

Фактическое превышение ПДК концентраций веществ 2-го класса K	Кратность превышения ПДК, приведенная к 3-му классу, K_{2-3}	Фактическое превышение ПДК концентраций веществ 2-го класса K	Кратность превышения ПДК, приведенная к 3-му классу, K_{2-3}
1,5	1,7	6	9,8
2	2,4	7	10,8
2,5	3,2	7,5	11,9
3	4	8	13
3,5	4,9	8,5	14,1
4	5,8	9	15,2
4,5	6,8	9,5	16
5	7,8	10	17,6
5,5	8,8		18,7

Таблица 5.6. Приведение кратности превышения ПДК веществ 4-го класса опасности к таковому 3-го класса

Фактическое превышение ПДК концентраций веществ 4-го класса K	Кратность превышения ПДК, приведенная к 3-му классу, K_{4-3}	Фактическое превышение ПДК концентраций веществ 4-го класса K	Кратность превышения ПДК, приведенная к 3-му классу, K_{4-3}
1,5	1,4	13,5	9,6
2	1,8	14	9,9
2,5	2,2	14,5	10,2
3	2,6	15	10,5
3,5	3	15,5	10,8
4	3,3	16	11,1
4,5	3,7	16,5	11,4
5	4	17	11,7
5,5	4,4	17,5	12
6	4,7	18	12,3
6,5	5	18,5	12,6
7	5,4	19	12,9
7,5	5,8	19,5	13,2
8	6	20	13,5
8,5	6,4	20,5	13,8
9	6,8	21	14,1
9,5	7	21,5	14,4
10	7,4	22	14,7
10,5	7,7	22,5	15
11	8	23	15,2
11,5	8,4	23,5	15,5
12	8,7	24	15,8
12,5	9	25	16
13	9,3		

Для вещества 1-го класса $K_{1-3} = K_i 3^{2,89 \lg K_i}$;
 вещества 2-го класса $K_{2-3} = K_i 3/2^{1,55 \lg K_i}$;
 вещества 3-го класса $K_{3-3} = K_i$;
 вещества 4-го класса $K_{4-3} = K_i 3/4^{1,05 \lg K_i}$.

В нормативах Минздрава приводятся сведения о классе опасности вещества совместно с ПДК и для веществ рассматриваемого нами круга в табл. 5.2 и 5.3.

Полученное значение P оценивается по табл. 5.7 в зависимости от абсолютного значения P и числа токсичных компонентов. Так, например, при наличии семи веществ с комплексным показателем, равным 11, загрязнение воздуха будет оцениваться как умеренное. Сопоставляя комплексные показатели для разных групп веществ или районов, можно судить об относительном уровне загрязнения.

Таблица 5.7. Зависимость комплексного показателя от числа загрязнителей и уровня загрязнения

Уровень загрязнения атмосферного воздуха	Число загрязнителей			
	2 3	4 9	10 20	более 20
I допустимый	2	3	4	5
II —слабый	2,1—4	3,1—6	4,1 8	5,1 -10
III — умеренный	4,1—8	6,1—12	8,1 -16	10,1 -20
IV — сильный	8,1 -16	12,1 -24	16,1 32	20,1 - 40
V — очень сильный	> 16	> 24	> 32	> 40

К моменту издания настоящей книги в работах Госкомиздата получил распространение так называемый индекс загрязнения атмосферы ИЗА, построенный по аналогичным признакам с P , но имеющий несколько иные численные коэффициенты. Оба показателя одинаково отражают тенденцию многокомпонентных загрязнений и один другого не исключают.

Раздел шестой

САНИТАРНО-ЗАЩИТНЫЕ ЗОНЫ. ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫЕ АКТЫ

При проектировании предприятий в пределах города или с ним сопредельных наряду с понятием санитарно-защитной зоны пользуются терминами: «зона загрязнения», «разрыв от источника производственных выбросов в атмосферу». Схематически определение необходимых понятий дано на рис. 6.1 [28].

Под понятием «зона загрязнения» имеется в виду территория вокруг источника загрязнения, в пределах которой приземный слой атмосферы загрязнен вредными веществами, содержащимися в производственных выбросах, в концентрациях, превышающих допустимые нормы.

Санитарно-защитная зона — часть зоны загрязнения в пределах между границей промышленного предприятия и границей селитебной территории

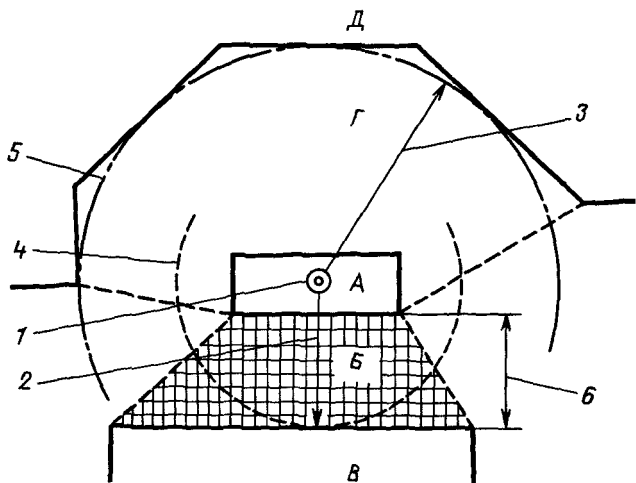


Рис. 6.1. Элементы, сопряженные с санитарной зоной:

А - территория промышленного предприятия; Б - санитарно-защитная зона промышленного предприятия; В - селитебная территория; Г - защитная зона сельскохозяйственных или лесных угодий; Д - территория сельскохозяйственных угодий; 1 - источник производственных выбросов в атмосферу; 2 - разрыв от источника производственных выбросов до границы селитебной территории; 3 - разрыв от источника производственных выбросов до границы сельскохозяйственных или лесных угодий; 4 - граница зоны загрязнения, в пределах которой приземная концентрация вредных веществ превышает значения ПДК для населенных пунктов; 5 - граница зоны загрязнения, в пределах которой приземная концентрация вредных веществ превышает допустимые нормы для сельскохозяйственных или лесных угодий; 6 - ширина санитарно-защитной зоны промышленного предприятия

населенного пункта. Санитарно-защитная зона устанавливается в целях снижения уровня загрязнения атмосферного воздуха до установленных пределов после проведения на предприятиях всех мер по очистке промышленных выбросов. Зона должна быть соответствующим образом планировочно организована, озеленена и благоустроена.

Под понятием «разрыв от источника производственных выбросов в атмосферу» имеется в виду расстояние от источника выбросов, на котором достигается уровень допустимой концентрации вредных веществ в приземном слое атмосферы.

Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий, СН245-71, для тепловых электростанций и котельных дают следующее определение СЗЗ:

«(п. 8.3). Санитарно-защитные зоны для тепловых электростанций и котельных следует определять по расчету рассеивания в атмосфере содержащихся в выбросах вредных веществ, на основании нормативных документов, утвержденных в установленном порядке».

Ниже приводится выписка относящихся к ТЭС и котельным параграфов СН245-71:

«(1.5). Примечание. В проекте следует предусматривать комплекс мероприятий, при выполнении которого в период эксплуатации обеспечиваются принятые в расчетах условия выбросов вредных веществ. Необходимость применения устройств для измерения и постоянной регистрации количества

поступающих в атмосферу и водосмы вредных веществ и устройств для регулирования величины выброса за счет идентификации очистки, измерения технологического режима производства или других мер определяется специальными указаниями Госстроя СССР, согласованными с Министерством здравоохранения СССР».

«(2.2). Предприятия, их отдельные здания и сооружения с технологическими процессами, являющимися источниками выделения в окружающую среду вредных и неприятно пахнущих веществ, а также источниками повышенных уровней шума, вибрации, ультразвука, электромагнитных волн радиочастот, статического электричества и ионизирующих излучений, следует отделять от жилой застройки санитарно-защитными зонами».

«(2.3). Размер санитарно-защитной зоны до границы жилой застройки следует устанавливать:

а) для предприятий с технологическими процессами, являющимися источниками загрязнения атмосферного воздуха вредными и неприятно пахнущими веществами, непосредственно от источников загрязнения атмосферы сосредоточенными выбросами (через трубы, шахты) или рассредоточенными выбросами (через фонари зданий и др.), а также от мест разгрузки сырья или открытых складов;

б) для предприятий с технологическими процессами, являющимися источниками шума, вибрации, электромагнитных волн радиочастот и других вредных факторов, поступающих во внешнюю среду,— от зданий, сооружений и площадок, где установлено производственное оборудование (агрегаты, механизмы), создающее эти вредные факторы;

в) для тепловых электрических станций, производственных и отопительных котельных— от дымовых труб».

«(2.4). Предприятия, их отдельные здания и сооружения с технологическими процессами, являющимися источниками выделений в атмосферу вредных и неприятно пахнущих веществ, а также источниками внешнего шума выше установленных нормами уровней для жилой застройки, не следует размещать с наветренной стороны для ветров преобладающего направления по отношению к жилой застройке.

Размещение предприятий с технологическими процессами, не выделяющими в атмосферу производственных вредностей, с процессами, не создающими уровней внешнего шума и других вредных факторов, превышающих установленные нормами для жилой застройки и не требующих железнодорожных подъездных путей, допускается в пределах жилых районов.

Площадки для строительства предприятий должны выбираться с учетом аэроклиматической характеристики и рельефа местности, прямого солнечного облучения и естественного проветривания, а также с учетом условий рассеивания в атмосфере производственных выбросов и условий туманообразования».

«(2.7). Размеры санитарно-защитных зон для отдельных групп или комплексов крупных предприятий I и II классов химической, нефтеперерабатывающей, металлургической, машиностроительной и других отраслей промышленности и ТЭС с выбросами, могущими создавать большие концентрации различных вредных веществ в атмосферном воздухе, создавать

шум, вибрацию, электромагнитные волны радиочастот или другие вредные факторы и оказывать особо неблагоприятное влияние на здоровье и санитарно-гигиенические условия жизни населения, устанавливаются в каждом конкретном случае по совместному решению Главного санитарно-эпидемиологического управления Министерства здравоохранения СССР и Госстроя СССР».

«(2.9). Размеры санитарно-защитной зоны могут быть уменьшены:

а) если в результате расчета рассеивания в атмосфере вредных веществ, остающихся после очистки выбросов, совершенствования технологических процессов производства и других мероприятий будет установлено, что содержание вредных веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов не превышает соответствующих гигиенических норм (ПДК);

б) если в результате акустического расчета будет определено, что уровни шума в пределах жилой застройки не превышают установленных норм;

в) если в пределах жилой застройки уровни вибрации, ультразвука, электромагнитных волн радиочастот, статического электричества и ионизирующих излучений не будут превышать установленных нормами».

Примечания: 1. Расчеты рассеивания в атмосфере вредных веществ, содержащихся в технологических выбросах, а также акустические расчеты следует производить в соответствии с нормативными документами, утвержденными или согласованными в установленном порядке.

2. Определение размера санитарно-защитной зоны по расчету рассеивания в атмосфере вредных веществ надлежит производить с учетом суммарного загрязнения наружного воздуха как технологическими и вентиляционными выбросами, так и существующими (фоновыми) загрязнениями.

3. Существующие (фоновые) загрязнения атмосферного воздуха в районе предполагаемого строительства или реконструкции предприятия устанавливаются местными органами санитарно-эпидемиологической службы и гидрометеорологической службы и представляются проектным организациям для учета при определении санитарно-защитных зон для предприятий.

«(2.1). Возможность использования земель, отведенных под санитарно-защитные зоны для сельскохозяйственного производства (выращивания сельскохозяйственных культур, пастбищ для скота и сенокоса), следует определять с учетом характера и количества вредных веществ, содержащихся в производственных выбросах и попадающих в санитарно-защитные зоны, по согласованию с местными органами Министерства сельского хозяйства СССР и при необходимости с органами санитарно-эпидемиологической службы».

«(2.1). Территория санитарно-защитной зоны должна быть благоустроена и озеленена по проекту благоустройства, разрабатываемому одновременно с проектом строительства или реконструкции предприятия. Проект благоустройства и выбор пород зеленых насаждений следует составлять в соответствии с требованиями главы СНиП по проектированию генеральных планов промышленных предприятий».

Рассматривая вышеприведенные нормативы на СЗЗ применительно к ТЭС и котельным, надо иметь в виду следующие их особенности. Трубы современных КЭС, как правило, имеют высоту более 250 м. К этому же значению приближаются и трубы городских ТЭЦ. Трубы районных котельных

редко имеют высоту менее 100 м. В соответствии с законами рассеивания в непосредственной близости от ТЭС и котельной (1— 2 км) концентрации вредных веществ, обусловленные выбрасываемыми через дымовую трубу газами, исчезающе малы. Своего нормируемого максимума эти концентрации достигают в радиусе 2— 5 км. Таким образом, по этому показателю (дымовой трубе) понятие СЗЗ для ТЭС не имеет смысла.

Иное положение складывается для низких неорганизованных выбросов и воздействий, к которым относятся выбросы главных корпусов и мазутного хозяйства, аэрозоли, уносимые с топливного склада и шламозолоотвалов, шум, вибрация и электрические поля.

Источником этих воздействий является не дымовая труба, а соответствующие цеха или элементы ТЭС, возле которых наблюдаются максимальные концентрации (уровни) соответствующих воздействий.

Методы расчета массы выбросов некоторых низких источников (элементы мазутного хозяйства, топливные склады, золоотвалы) были приведены в разд. 2.

Исследования, выполненные в Белорусском отделении ВНИПИЭнергопрома, показали, что выбросы дымовых газов из здания котельного цеха возможны только при установке в нем котлов под наддувом [31]. Ввиду отсутствия в ПТЭ норм на утечки газов (подобных присосам) в качестве таковых приняты значения, ограниченные при интенсивной вентиляции уровнем ПДК рабочей зоны.

Как показали расчеты, приземные концентрации оксидов серы и азота, а также золы нигде не достигают ПДК.

Углеводороды, поступающие в атмосферу из емкостей для мазута, железнодорожных цистерн и сливных эстакад, дают приземные концентрации на порядок ниже соответствующего ПДК. Наиболее значимыми являются шум от предохранительных клапанов и продувок, а также пыление открытых топливных складов.

Раздел седьмой

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОХРАНЕ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА

7.1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

Современная наука и техника располагают технологиями, позволяющими пресекать поступление в атмосферу любых техногенных токсичных газов и аэрозолей. Однако в реальной жизни приходится считаться с затратами на осуществление этих технологий и идти на компромисс между конечными целями производства и сопряженным с ним экологическим ущербом. Формализация поисков этого компромисса и выбор его наилучших вариантов достигаются с помощью расчетов, выполняемых по «Временной типовой методике определения эффективности осуществления природоохранных мероприятий...», одобренной Госпланом, Госстроем и Президиумом АН СССР

[25]. Обращаем внимание читателя, что обязательные нормативные документы идут с грифом «Утверждено».

В приводимом ниже тексте используется терминология методики [25] и следующие условные обозначения:

P — экономический результат средоохранительных мероприятий; Z — затраты на природоохранную технологию; Π — предотвращенный годовой экономический ущерб от загрязнения среды; D — дополнительный доход от улучшения производства; Y — экологический ущерб; q_i — количество продукции i ; z_i — цена продукции i ; R — годовой чистый экономический эффект; C — годовые эксплуатационные расходы на обслуживание и содержание основных фондов природоохранного назначения; K — капитальные вложения в природоохранные фонды (технологии и сооружения); $E=0,12$ — нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений.

Основным негативным показателем технологии является экологический ущерб, т. е. выраженные в рублях дополнительные расходы на здравоохранение, недопуск продукции заболевшими членами общества, потеря урожайности, коррозия сооружений и оборудования, ухудшение биологических элементов природы и ландшафтов и т. п. За пределами денежной оценки остаются духовные, а также невоспроизводимые природные элементы. Введение природоохранительных мероприятий позволяет снизить экологический ущерб и в ряде случаев, если токсичное вещество или его соединения пользуются товарным спросом, получать дополнительный доход от их реализации.

Использование природоохранной технологии сопровождается предотвращением годового экологического ущерба на величину

$$\Pi = Y_1 - Y_2, \quad (7.1)$$

где индексы 1 и 2 отвечают экологическим ущербам до и после введения природоохранной технологии.

Экономический эффект природоохранного мероприятия складывается из суммы предотвращенного ущерба и доходов от продажи уловленных продуктов:

$$\Delta P = \Pi + \Delta D, \quad (7.2)$$

где $\Delta D = \sum q_i z_i$.

Приведенные к одному году затраты на природоохранную технологию записываются общезвестным выражением

$$Z = EK + C. \quad (7.3)$$

Очевидно, что годовой чистый экономический эффект

$$R = P - Z. \quad (7.4)$$

Формально наилучший природоохранительный вариант (технология) определяется из условий максимизации чистого экономического эффекта R . В реальных условиях заданным может быть снижение массы выбросов и обусловленный ими предотвращенный экологический ущерб Π . В этих условиях реальная максимизация распространяется, как правило, на отрицательную величину $\Delta D - Z$ и осуществляется обычными технико-экономическими средствами.

7.2. РАСЧЕТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

Ущерб, наносимый выбросами единичного источника в атмосферный воздух, согласно действующим методическим материалам [31]²⁵ в денежной оценке (руб/год) определяется по формуле

$$Y = 2,4\sigma f M, \quad (7.5)$$

где σ - показатель относительной опасности загрязнения атмосферного воздуха; f - коэффициент, учитывающий характер рассивания вредного вещества; M - приведенная масса годового выброса токсичного вещества, $t/\text{год}$.

Показатель относительной опасности σ учитывает экологическую уязвимость реципиентов и приводится в табл. 7.1.

Таблица 7.1. Показатель относительной опасности загрязнения атмосферного воздуха над категориями различных типов

Тип загрязняемой территории	σ
Курорты, санатории, заповедники, заказники	10
Пригородные зоны отдыха, садовые и дачные кооперативы и товарищества	8
Населенные места с плотностью населения n чел./га*	$(0,1 \text{ га/чел.}) n$
Территории промышленных предприятий (включая защитные зоны) и промышленных узлов	4
Леса:	
1-я группа	0,2
2-я группа	0,1
3-я группа	0,025
Пашни**:	
южные зоны (южнее 50° с. ш.)	0,25
ЦЧР, Южная Сибирь	0,15
прочие районы	0,1
Сады, виноградники**	0,5
Пастбища, сенокосы**	0,05

* При наличии данных о фактической плотности пребывания людей на загрязняемой территории в чел·ч/(год·га) эту строку в таблице следует заменить следующей: «Территории населенных мест с плотностью пребывания людей N чел·ч/(год·га)», а в столбце «Значение σ » поставить: « $(N/35000)$ чел·ч/(год·га)». При этом в число N включается время, проведенное людьми как вне, так и внутри помещений. (Число $\sigma = (0,1 \text{ га чел.})$ и $\sigma = \frac{N}{35000 \text{ чел·ч/(год·га)}}$ в столбце «Значение σ » безразмерны.) Для центральной части городов с населением свыше 300 тыс. чел. независимо от административной плотности населения принимается $\sigma = 8$.

** Для орошаемых пахотных земель, садов, виноградников, сенокосов указанные числа следует умножить на 2.

Если зона активного загрязнения (ЗАЗ) неоднородна и состоит из территорий таких типов, которым соответствуют различные значения σ , причем s_j - площадь j -й части ЗАЗ, σ_j - соответствующее табличное значение константы σ , то значение σ для всей ЗАЗ определяется по формуле

$$\sigma = s_{\text{ЗАЗ}}^{-1} \sum_{j=1}^k s_j \sigma_j = \sum_{j=1}^k \frac{s_j}{s_{\text{ЗАЗ}}} \sigma_j, \quad (7.6)$$

где $S_{\text{ЗАЗ}}$ — общая площадь ЗАЗ; j — номер части ЗАЗ, относящейся к одному из типов территорий, указанных в табл. 7.1; k — общее число типов территорий, попавших в ЗАЗ.

Зона активного загрязнения для каждого источника, ущерб от выбросов которого подлежит оценке, определяется следующим образом.

ЗАЗ для организованных источников представляет собой кольцо, заключенное между окружностями с внутренними и внешними радиусами $r_1 = 2\phi h$ и $r_2 = 20\phi h$, где h — высота источника в метрах. В случаях, когда частотная роза по направлениям ветров резко отличается от круговой, рекомендуется круговые внешнюю и внутреннюю границы ЗАЗ заменять деформированными в соответствии с частотной розой по направлениям ветров, умножая величины r_1 и r_2 на два множителя, первый из которых равен числу румбов в розе, а второй — относительной частоте (в долях единицы) направления ветра по каждому румбу.

Безразмерная поправка ϕ на подъем факела в атмосфере, вычисляется по формуле

$$\phi = 1 + \Delta T / 75, \quad (7.7)$$

где ΔT — среднегодовое значение разности температур в устье трубы и в окружающей атмосфере, °C.

Для автомагистралей всех типов принимается, что ЗАЗ представляет собой полосу шириной 200 м, центральная ось которой совпадает с центральной осью автомагистрали. Для низких неорганизованных источников (складов, вентиляторов, окон промышленных зданий, карьеров, свалок и т. д.) принимается, что ЗАЗ представляет собой территорию внутри замкнутой кривой, проведенной вокруг источника так, что расстояние от любой точки этой кривой до ближайшей точки границы неорганизованного источника (до его контура) равно 1 км, а для высоких неорганизованных источников (терриконов и пр.) $20 h$ (м).

Значение множителя f (поправки, учитывающей характер рассеяния примеси в атмосфере) определяется следующим образом.

Для газообразных примесей и легких мелкодисперсных частиц с очень малой скоростью оседания (менее 1 см/с)

$$f = f_1 \frac{100}{100 + \phi h} \frac{4}{1 + u}, \quad (7.8)$$

где h — геометрическая высота устья источника по отношению к среднему уровню ЗАЗ, м; ϕ — поправка на тепловой подъем факела выброса в атмосфере, вычисляемая по формуле (7.7); u — среднегодовое значение модуля скорости ветра на уровне флюгера, м/с; в тех случаях, когда значение u неизвестно, оно принимается равным 3 м/с.

Значения f_1 , вычисленные по формуле (7.7), при $u = 3$ м/с для некоторых значений ΔT и h приведены в табл. 7.2. Если $u \neq 3$ м/с, то значение, приведенное в табл. 7.2 для заданных ΔT и h , следует умножить на поправку

$$w = 4 / (1 + u),$$

которая приведена ниже:

u , м/с	1	1,5	2	3	3,5	4	4,5	5
w	2	1,6	1,33	1	0,89	0,8	0,73	0,67

Таблица 7.2. Значения функции f_1^0 (в числителе) и функции f_2^0 (в знаменателе)

$\Delta T, ^\circ\text{C}$	φ	Высота источника, м										
		0	10	20	50	100	150	200	250	300	350	400
0	1	1,0	0,91	0,83	0,67	0,5	0,4	0,33	0,29	0,25	0,22	0,20
		4,08	3,78	3,54	3,02	2,5	2,18	1,96	1,8	1,67	1,55	1,47
25	1,33	1,0	0,88	0,79	0,6	0,43	0,33	0,27	0,23	0,2	0,18	0,16
		4,08	3,69	3,4	2,81	2,28	1,96	1,75	1,6	1,48	1,38	1,3
50	1,67	1,0	0,86	0,75	0,55	0,38	0,29	0,23	0,19	0,17	0,15	0,13
		4,08	3,61	3,27	2,64	2,10	1,79	1,59	1,45	1,34	1,25	1,17
75	2	1,0	0,83	0,71	0,5	0,33	0,25	0,2	0,17	0,14	0,13	0,11
		4,08	3,54	3,16	2,5	1,96	1,67	1,47	1,34	1,23	1,15	1,08
100	2,33	1,0	0,81	0,68	0,46	0,3	0,23	0,18	0,15	0,13	0,11	0,1
		4,08	3,46	3,06	2,38	1,83	1,57	1,38	1,25	1,15	1,07	1,01
125	2,67	1,0	0,79	0,65	0,43	0,27	0,2	0,16	0,13	0,11	0,1	0,9
		4,08	3,39	2,97	2,27	1,76	1,48	1,3	1,18	1,08	1,01	0,95
150	3	1,0	0,77	0,63	0,4	0,25	0,18	0,14	0,12	0,1	0,09	0,08
		4,08	3,33	2,89	2,18	1,67	1,4	1,23	1,11	1,02	0,95	0,89

Для частиц, оседающих со скоростью от 1 до 20 см/с, принимается, что

$$f=f_2=\left(\frac{1000}{60+\varphi h}\right)^{1/2} \frac{4}{1+u}. \quad (7.9)$$

Значения f_2 , вычисленные по формуле 7.9, при $u=3$ м/с для некоторых ΔT и h приведены в табл. 7.2. Если $u \neq 3$ м/с, то приведенное в таблице значение f_2^0 следует умножить на ранее приведенную поправку w .

Для частиц, оседающих со скоростью свыше 20 см/с, принимается, что независимо от значений h , φ , ΔT и u

$$f=f_3=10. \quad (7.10)$$

Если распределение годовой массы выброса частиц (пыли, золы, жидких аэрозолей и проч.) по фракциям в зависимости от скорости оседания частиц неизвестно, то вплоть до разработки соответствующих отраслевых банков данных можно принимать, что при выбросе частиц после их прохождения через фильтры с фактическим эксплуатационным значением коэффициента очистки (улавливания) η при $\eta \geq 90\%$ имеет место равенство $f=f_1$ [см. формулу (7.8)]; при $70\% < \eta < 90\%$ $f=f_2$ [см. формулу (7.9)]; при $\eta < 70\%$ $f=f_3$ (7.10); при выбросе частиц одновременно с парами воды или других веществ, сопровождающемся быстрой конденсацией, применяется (7.10); эта же формула используется при оценке ущерба от выброса аэрозолей автотранспортными средствами; в случае сжигания жидких и газообразных топлив, не сопровождающегося быстрой конденсацией частиц (отсутствует одновременный выброс паров и т. п.), используется (7.9).

Если значения параметра f для различных типов примесей (газов и аэрозолей), выбрасываемых одним источником, оказались различными, то общая оценка ущерба равна сумме оценок, относящихся к каждому типу примесей.

При оценке ущерба от выброса примесей объемными источниками (терриконами и т. п.), производимой по формулам (7.8) и (7.9), в качестве h следует брать высоту центра тяжести источника (или центра области образования выбросов) относительно среднего уровня ЗАЗ.

Значение приведенной массы годового выброса загрязнений в атмосферу из источника определяется по формуле

$$M = \sum_{i=1}^N A_i m_i, \quad (7.11)$$

где m_i — масса годового выброса примеси i -го вида в атмосферу, т/год; A_i — показатель относительной агрессивности примеси i -го вида, усл. т/т; N — общее число примесей, выбрасываемых источником в атмосферу.

Значения M подсчитываются для групп примесей, входящих в каждую из указанных выше трех фракций, так что в общем случае при выбросе примесей с тремя различными значениями параметра f из одного источника для этого источника оценка наносимого его выбросами ущерба должна определяться по формуле

$$Y = 2,4\sigma [f_1 M_1 + f_2 M_2 + f_3 M_3]. \quad (7.12)$$

Значение показателя A_i относительной агрессивности различных примесей, выбрасываемый в атмосферу, определяется по формуле

$$A_i = a_i \alpha_i \delta_i, \quad (7.13)$$

где a_i — показатель относительной опасности присутствия примеси в воздухе, выдыхаемом человеком; α_i — поправка, учитывающая вероятность накопления исходной примеси или вторичных загрязнителей в компонентах окружающей среды и в цепях питания, а также поступления примеси в организм человека неингаляционным путем; δ_i — поправка, учитывающая действие на различные реципиенты помимо человека.

В ряде указанных ниже случаев в формулу для определения значения A_i вводятся два дополнительных множителя: поправка λ_i на вероятность вторичного заброса примесей в атмосферу после их оседания на поверхностях (вводится для пылей) и поправка β_i на вероятность образования при участии исходных примесей, выброшенных в атмосферу, других (вторичных) загрязнителей, более опасных, чем исходные (например, для легких углеводородов).

Показатель a_i и поправки α_i , δ_i , λ_i , β_i безразмерны; показателю A_i присваивается размерность усл. т/т. Численное значение показателя a_i определяется по формуле

$$a_i = \frac{\text{ПДК}_{\text{с.с.с.}} \text{ПДК}_{\text{р.з.с.о.}}}{\text{ПДК}_{\text{с.с.т.}} \text{ПДК}_{\text{р.з.т.}}}, \quad (7.14)$$

где $\text{ПДК}_{\text{с.с.т.}}$ — среднесуточная предельно допустимая концентрация i -й примеси в атмосферном воздухе; $\text{ПДК}_{\text{р.з.т.}}$ — предельно допустимое значение концент-

рации i -й примеси в воздухе рабочей зоны; $\text{ПДК}_{\text{с.с.со}}$ — среднесуточная предельно допустимая концентрация оксида углерода СО в атмосферном воздухе населенных мест, равная 3 мг/м^3 ; $\text{ПДК}_{\text{р.з.со}}$ — предельно допустимое значение концентрации СО в воздухе рабочей зоны, равное 20 мг/м^3 .

В случае если в списках ПДК, утверждаемых Главным санитарным врачом СССР или его заместителями, отсутствует значение $\text{ПДК}_{\text{с.с}}$ для того или иного выбрасываемого вещества или примеси, вместо $\text{ПДК}_{\text{с.с}}$ при расчете величины a_i допускается использование значения «разовой» ПДК для атмосферного воздуха населенных мест, а при отсутствии утвержденного значения «разовой» ПДК следует определять значение величины, подставляемой в формулу вместо $\text{ПДК}_{\text{с.с}}$, по имеющимся гигиеническим данным при условии согласования с Главным санитарно-эпидемиологическим управлением Минздрава СССР или Минздрава союзной республики.

При отсутствии утвержденного значения $\text{ПДК}_{\text{р.з}}$, допускается использование значения «ориентировочного» безопасного уровня воздействия в воздухе рабочей зоны (ОБУВ) для данной примеси, а при отсутствии утвержденного значения ОБУВ — величины, значение которой устанавливается по имеющимся токсикологическим данным и согласовывается с ГСЭУ Минздрава СССР или Минздрава союзной республики.

Поправка $\alpha_i = 5$ для токсичных металлов и их оксидов ванадия, марганца, кобальта, никеля, хрома, цинка, мышьяка, серебра, кадмия, сурьмы, олова, платины, ртути, свинца, урана; $\alpha = 2$ для прочих металлов и их оксидов натрия, магния, кальция, железа, стронция, молибдена, бария, вольфрама, висмута, для кремния, бериллия, а также других компонентов твердых аэрозолей, для полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), в том числе 3,4-бенз(а)пирена; $\alpha_i = 1$ для всех прочих выбрасываемых в атмосферу загрязнителей (для газов, кислот и щелочей в аэрозолях и др.).

Поправка $\delta_i = 2$ принимается для выбрасываемых и испаряющихся в атмосферный воздух легко диссоциирующих кислот и щелочей (фтористого водорода, соляной и серной кислот и т. п.), молекулярных фтора, хлора, сернистого газа, сероводорода; $\delta_i = 1,5$ для оксидов азота, сероуглерода, озона, хорошо растворимых неорганических соединений фтора; $\delta_i = 1,2$ для органических пылей, не содержащих ПАУ и других опасных соединений (древесной пыли и др.), нетоксичных металлов и их оксидов (натрия, магния, калия, кальция, железа, стронция, молибдена, бария, вольфрама, висмута), а также для реактивной органики (альдегидов и т. п.), аммиака, неорганических соединений кремния, плохо растворимых соединений фтора; $\delta_i = 1$ для прочих соединений и примесей (для оксида углерода, легких углеводородов, ПАУ, токсичных металлов и их оксидов и др.).

Дополнительная поправка на вторичный заброс $\lambda_i = 1,2$ для твердых аэрозолей (пылей), выбрасываемых на территориях со среднегодовым количеством осадков менее 400 мм в год, и $\alpha_i = 1$ для твердых аэрозолей, выбрасываемых на прочих территориях, а также для всех прочих примесей независимо от места выброса.

Дополнительная поправка на вероятность образования опасных вторичных загрязнителей принимается: $\beta_i = 5$ для содержащихся в парах бензинов и других топлив нетоксичных летучих углеводородов (низкомолекулярных парафинов

и олефинов при $\alpha_i < 3$) при их поступлении в атмосферу южнее 45° с.ш.; $\beta_i = 2$ при их поступлении в атмосферу севернее 45° с.ш.; для прочих веществ $\beta_i = 1$.

Для нетоксичных органических и неорганических пылей, не содержащих соединений с большими значениями коэффициентов α_i (таких, как ПАУ, токсичные металлы, диоксид кремния и др.) и состоящих из веществ, для которых ПДК_{с.с.} не установлены, допускается впредь до установления индивидуальных ПДК_{с.с.} для пыли принимать, что ПДК_{с.с.} для каждого компонента пыли равно 0,15 мг/м³.

Коэффициент α_i для хорошо растворимых (легко диссоциирующих) в воде соединений следует рассчитывать по значениям коэффициентов α_i для ионов, на которые диссоциирует молекула исходного вещества, суммируя эти коэффициенты с «весами», равными отношению суммарной массы ионов каждого вида к массе всей молекулы (с учетом числа ионов каждого вида в составе молекулы).

Если такой расчет затруднителен из-за отсутствия значений ПДК для ионов или по другим причинам, расчет ведется по наиболее токсичному компоненту молекулы (металлу и др.). Так же определяется значение α_i таких плохо растворимых соединений, для которых значения ПДК, входящие в формулу (7.14), к моменту проведения расчетов оценок ущерба еще не установлены.

Значения A_i для некоторых распространенных видов примесей приведены в табл. 7.3.

Таблица 7.3. Значения A_i для некоторых веществ, выбрасываемых в атмосферу

Вещество	ПДК _{с.с.} , мг/м ³	ПДК _{р.з.} , мг/м ³	α_i	λ_i	a_i	β_i	δ_i	A_i , усл. т/т
Оксид углерода	3	20	1	1	1	1	1	1
Сернистый ангидрид	0,05	10	11	1	1	1	2	22
Сероводород	0,008	10	27,4	1	1	1	2	54,8
Серная кислота	0,1	1	24,5	1	1	1	2	49
Оксиды азота в пересчете по массе на NO ₂	0,04	2	27,4	1	1	1	1,5	41,1
Аммиак	0,04	20	8,7	1	1	1	1,2	10,4
Летучие низкомолекулярные углеводороды (пары жидких топлив бензинов и др.) по углероду	1,5	100	0,63	1	1	$\frac{2}{5}$	1	$\frac{1,26}{3,16}$
Ацетон	0,35	200	0,93	1	1	$\frac{2}{5}$	1,2	$\frac{2,22}{5,55}$

Вещество	ПДК _{с.с.} мг/м ³	ПДК _{р.з} мг/м ³	α_i	λ_i	a_i	β_i	δ_i	A_i , усл. т/т
Метилмеркаптан	$(9 \cdot 10^{-6})$	0,8	2890	1	1	1	1	2890
Фенол	0,003	0,3	258	1	1	1	1,2	310
Ацетальдегид	0,01	5	34,6	1	1	1	1,2	41,6
3,4-бенз(а)пирен	10^{-7}	1,5	$10 \cdot 6,3$	10	2	1	1	$12,6 \cdot 10^3$
Цианистый водород	0,01	0,3	141	1	1	1	2	282
Пары плавиковой кислоты и другие газообразные соединения фтора	0,005	0,05	490	1	1	1	2	980
Хлор молекулярный	0,03	1	44,7	1	1	1	2	89,4
Оксиды алюминия	(0,15)	6	14,1	1	2	1	1,2	33,8
Диоксид кремния	0,05	1	34,6	1	2	1	1,2	83,2
Сажа без примесей (пыль углерода без учета примесей)	0,05	4	17,3	1	2	1	1,2	41,5
Оксиды натрия, магния, калия, кальция, железа, стронция, молибдена, вольфрама, висмута	(0,15)	10	6,3	1	2	1	1,2	15,1
Древесная пыль	(0,15)	6	8,16	1	2	1	1,2	19,6
Пентаоксид ванадия (пыль)	0,002	0,5	245	1	5	1	1	1225
(для пыли)								
Неорганические соединения 6-валентного хрома по CrO_3	0,0015	0,01	2000	1	5	1	1	10^4
Марганец и его оксиды в пересчете на Mn (для аэрозоля дезинтеграции)	0,001	0,03	1414	1	5	1	1	7070
Кобальт металлический, оксид кобальта	0,001	0,5	346	1	5	1	1	1730
Никель и его оксиды	0,001	0,05	1095	1	5	1	1	5475
Оксид цинка	0,05	0,5	49	1	5	1	1	245

Вещество	ПДК _{с.с.} мг/м ³	ПДК _{р.л} мг/м ³	α_i	λ_i	a_i	β_i	δ_i	A_i , усл. т/т
Оксиды мышьяка	0,003	0,2 (в пересчете на A_a)	316	1	5	1	1	1581
Неорганические соединения ртути по Hg	0,0003	0,01	4472	1	5	1	1	22 400
Неорганические соединения свинца по Pb	0,0003	0,01	4472	1	5	1	1	22 400

Примечания. Указанные в таблице значения λ_i и A_i соответствуют случаю выброса примесей в зонах с количеством осадков свыше 400 мм в год. В более засушливых зонах эти значения следует увеличить в 1,2 раза для всех твердых аэрозолей.

В скобках указаны величины, используемые для расчета A_i вместо ПДК_{с.с.} (из-за отсутствия утвержденных ПДК_{с.с.}).

Значения β_i и A_i , соответствующие выбросам в широтном поясе южнее 45° с.ш., указаны в числителе, а севернее 45° с.ш. - в знаменателе.

Впредь до точного определения состава выбрасываемых в атмосферу твердых аэрозолей временно допускается в расчетах, проводимых до 1990 г., использование ориентировочных значений A_i для некоторых распространенных видов пылей, указанных в табл. 7.4.

Таблица 7.4. Значения A_i (временные) для многотоннажных аэрозолей (количество осадков больше 400 мм/год)

Вид аэрозоли	A_i , усл. т/т	Вид аэрозоли	A_i , усл. т/т
Зола углей: лонецких (АШ, Д, ГСШ), подмосковных кузнецких, экибастузских, карагандинских березовских, назаровских, ангренских торфов (в среднем)	70 80 60 60	Твердые частицы, выбрасываемые транспортными средствами с двигателями внутреннего сгорания, работающими на неэтилированном бензине То же на этилированном бензине То же для дизелей, топливных и иных установок, сжигающих мазуты и газ	300 500 200
Пыль: коксовая и агломерационная, выбрасываемая предприятиями черной металлургии (в среднем) каменноугольная никелевого агломерата	100 40 600	Пыль: цементных производств (в среднем) слюды талька гипса, известняка	45 70 35 25

Примечания:

1. Если плотность населения (пребывания людей) в ЗАЗ мала и вычисленное по (7.6) значение σ для ЗАЗ от данного источника не превышает 0,5, то при получении оценки ущерба от выбросов этого источника допускается 150

игнорирование выбросов окиси углерода, аммиака и летучих углеводородов (паров жидких топлив).

2. При оценке ущерба от выбросов по (7.5) необходимо учитывать все выбрасываемые вещества, включая микропримеси. Игнорирование какой-либо примеси в составе выбросов приведет к занижению оценки ущерба, что в свою очередь может привести к получению заниженной оценки эффекта атмосфероохранных мероприятий.

Ущерб от выброса пылей следует определять на основе полного количественного анализа состава выбрасываемых пылей, включая токсичные и канцерогенные микропримеси.

При определении значения σ , подставляемого в (7.5), следует учитывать перспективу увеличения плотности населения в ЗАЗ и изменения других характеристик ЗАЗ.

7.3. Комплексные эколого-экономические расчеты.

Межведомственная оптимизация

Как уже указывалось в разд. 3, сооружение новых и реконструкция (расширение) действующих ТЭЦ и котельных ограничивается условием: сумма расчетной подфакельной и фоновых концентраций не должна превышать ПДК_{м.р.} На практике фоновые концентрации, особенно по суммации оксидов серы и азота, могут изначально превышать ПДК_{м.р.} или единицу.

В этой ситуации согласно логике и ОНД-86 фон должен быть сокращен до уровня, позволяющего вписать дополнительные выбросы ТЭЦ или котельной. При этом возникает вопрос, на каких из действующих и вновь вводимых источниках выбросов, расположенных в ареале ТЭЦ и районных котельных, следует осуществлять атмосфероохранные мероприятия и какие именно.

В соответствии с Законом СССР об охране атмосферного воздуха необходимо соблюдение каждым предприятием норм ПДВ (предельно допустимого выброса). По определению (ГОСТ 17.2.3.02-78), ПДВ - это такой выброс каждым источником города, который в сумме с выбросами остальных источников не приводит к превышению концентраций над значением ПДК. Из определения следует, что возможны различные варианты норм ПДВ для источников города, что иллюстрируется рис. 7.1.

Пусть, например, расчетная приземная концентрация вредного вещества в городе после ввода нового предприятия составит 2 ПДК (рис. 7.1, а) и будет включать выбросы предприятий четырех ведомств: комбината удобрений химической промышленности, ТЭЦ-1 Минэнерго СССР, агрофабрики Минчермета СССР и предприятий коммунального хозяйства. На рис. 7.1, б показан вариант снижения концентрации до ПДК при условии уменьшения вкладов каждой отрасли пропорционально исходному состоянию, а на рис. 7.1, в вариант равного деления норматива на доли между четырьмя вкладчиками. Количество таких вариантов может быть весьма большим и определяется числом возможных сочетаний атмосфероохранных мероприятий и уровней снижения выбросов на каждом из источников города, обеспечивающих достижение ПДК. Это означает, что поскольку стоимости мероприятий различаются существенно, народнохозяйственный объем капиталовложений,

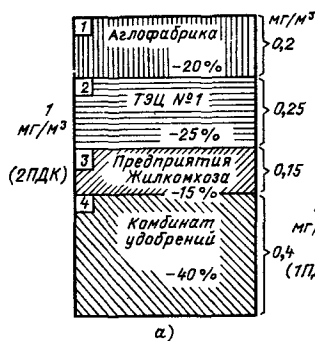
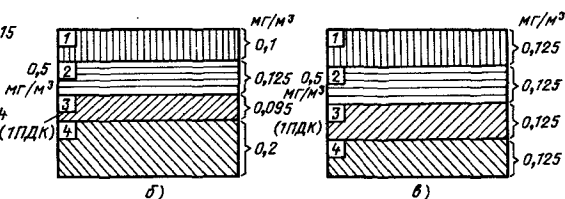


Рис. 7.1. Варианты изменения вкладов в фоновую приземную концентрацию при снижении атмосферного загрязнения с двух ПДК (а) до норматива (варианты б, в)



необходимый для достижения ПДВ, может в вариантах различаться на порядки. Несомненно, что для практической реализации нужен не любой вариант, а наиболее экономичный.

Однако в действующих нормативных документах, определяющих порядок снижения выбросов до ПДВ или до времени согласованных значений (ВСВ), не предусмотрены правила выбора наиболее экономичных решений. В соответствии с ГОСТ 17.2.3.02—78 о правилах установления допустимых выбросов в атмосферу и Временной методикой нормирования выбросов [26] мероприятия по снижению атмосферного загрязнения назначаются внутри каждого ведомства. Предприятия и их генпроектировщики либо головные ведомственные организации практически произвольно выбирают себе в токсичном фоне города определенную долю при установлении ведомственного значения ПДВ и планировании атмосфероохранных мероприятий для достижения этой нормы. Затем региональный орган Госкомгидромета также произвольно корректирует ведомственные значения ПДВ и после этого утверждает их для всех объектов города.

Таким образом, несмотря на межотраслевую суть самого понятия ПДВ, действующая методика определения ПДВ основана на ведомственном подходе и не содержит указаний о порядке эколого-экономического обоснования мероприятий. В результате заданный экологический эффект обеспечивается не при минимальных затратах финансовых и материальных ресурсов. В связи с этим со стороны центров по контролю за загрязнением природной среды Госкомгидромета СССР и органов Минздрава СССР к объектам предъявляются требования по снижению выбросов, которые нельзя признать обоснованными, поскольку они ориентированы, как правило, только на вклад в валовой выброс.

Процесс согласования с органами Госкомгидромета СССР и Минздрава СССР проектов ТЭС и схем теплоснабжения городов превратился в многоступенчатую процедуру, зачастую не оканчивающуюся обоснованным решением. При этом стороны не обеспечены научно обоснованными эколого-экономическими аргументами. Обычно согласование заканчивается волевым решением руководящих органов, реже — вынужденным обоюдным компромиссом. Для выбора научно обоснованных решений, удовлетворяющих интенсивным методам хозяйствования в области охраны воздушного бассейна, нормативные документы должны быть дополнены правилами определения оптимальных вариантов атмосфероохранных мероприятий.

Необходимость оптимизации видна из следующего упрощенного примера. Допустим, что для приведенного выше примера — города с четырьмя предприятиями (источниками) — на каждом источнике технически возможно осуществить по два атмосфероохранных мероприятия. Требуется выбрать такой комплекс мероприятий, который обеспечил бы достижение норматива загрязнения (снижение приземной концентрации в точке максимума в 2 раза) при общем народнохозяйственном минимуме капитальных вложений.

Для удобства решения задачи составим таблицу с перечнем и эколого-экономическими показателями мероприятий на объектах города: стоимостью мероприятия ΔK , значением снижаемого выброса ΔM и рассчитаем в соответствии с ОНД-86 значение снижаемой в результате внедрения мероприятий приземной концентрации Δc в точке максимума (табл. 7.5). Найдем отношение $\Delta c / \Delta K$ — экологическую эффективность мероприятия, мг/(м³ · руб.). Мероприятие с наиболее высоким значением этого показателя является для народного хозяйства первоочередным независимо от отраслевой принадлежности объекта.

Таблица 7.5. Эколого-экономические показатели

Объект	Номер мероприятия	ΔM	Δc	ΔK	Ранг
Аглофабрика Минчермета	1	M_1	c_1	K_1	5P
	2	M_2	c_2	K_2	2P
ТЭЦ-1 Минэнерго СССР	3	M_3	c_3	K_3	1P
	4	M_4	c_4	K_4	6P
Предприятия Минжилкомхоза	5	M_5	c_5	K_5	4P
	6	M_6	c_6	K_6	3P
Комбинат удобрений Минхимпрома	7	M_7	c_7	K_7	7P
	8	M_8	c_8	K_8	8P

Расположим мероприятия в порядке убывания этого показателя и в этом же порядке отложим их на графике рис. 7.2 в координатах $c-K$. Тогда каждое мероприятие отобразится отрезком, тангенс угла наклона которого равен $\Delta c / \Delta K$. Чем круче отрезок, тем эффективнее мероприятие. Если отобрать мероприятия по убыванию значения показателя $\Delta c / \Delta K$, т. е. по степени крутизны отрезков, то получим ломаную с максимальной общей крутизной, которая пересечет линию нормативной (ПДК) или любой другой заданной концентрации в точке, наиболее близко расположенной к оси c . Это означает, что санитарный норматив и, следовательно, нормы ПДВ будут при «спуске» по этой линии обеспечены при минимально возможной сумме капиталовложений. В этом случае фоновая концентрация не превышает ПДК и распределена между вкладчиками экономично. Любой другой набор мероприятий отобразится более пологой ломаной линией (например, пунктирной траекторией на рис. 7.2), что приведет к достижению норматива при больших затратах.

Если же располагаемая сумма капиталовложений ограничена, описанная система позволяет определить минимальную приземную концентрацию, которую можно получить при имеющихся ограниченных объемах капиталовложений (например, при капиталовложениях K_1 концентрацию можно снизить в лучшем случае до c_1).

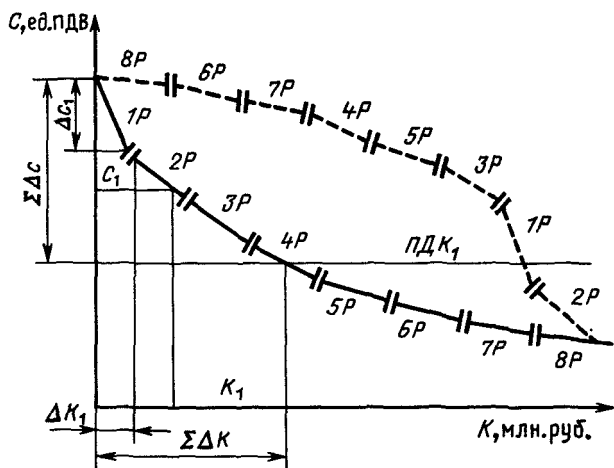


Рис. 7.2. Схема снижения атмосферного загрязнения по критерию $\Delta c/\Delta K$

Для принятия решения о числе и характере мероприятий, обеспечивающих выход на заданные концентрации, необходимо иметь следующую информацию: после реализации какого варианта будет достигнут норматив загрязнения; если к нормативу приводят несколько вариантов, то какова их потребность в финансовых и материальных ресурсах;

хватит ли ресурсов для достижения норматива, и если нет, то какой вариант удовлетворяет ограниченному ресурсу при условии максимально возможного снижения атмосферного загрязнения.

В общем виде цель может быть сформулирована следующим образом: определить, какие мероприятия, в каком объеме и на каких источниках города должны быть реализованы, чтобы санитарный норматив был обеспечен при максимуме экономического эффекта. Если при этом ограниченные финансовые и материальные ресурсы недостаточны для снижения загрязнения до нормативного, решается задача наиболее экономичного распределения ресурсов.

Зная потребность каждого мероприятия в ресурсах и перебирая поочередно все варианты мероприятий с расчетом приземных концентраций в результате условного внедрения каждого варианта, можно найти наиболее экономичное решение. Однако в реальных городах с сотнями источников число вариантов очень велико, что делает обычный перебор невозможным.

С целью автоматизации выбора оптимального варианта во ВНИИПИ-Энергопроме на основе системного подхода был разработан удобный для практического применения экономико-математический инструмент, предназначенный для комплексного обоснования и выбора оптимального перечня технически осуществимых атмосфероохранных мероприятий на источниках выбросов в ареале ТЭС и районных котельных, т. е. практически на территории всего города [27].

Сложность задачи была обусловлена необходимостью рассмотрения огромного числа вариантов сочетаний атмосфероохранных мероприятий на

источниках города и учета ограничений на финансовые и материальные ресурсы. В связи с этим решение задачи стало возможным на основе применения методов математического программирования, обеспечивающих направленный перебор множества возможных комбинаций снижения выбросов и поиск наиболее эффективной. В результате исследования была разработана методика оптимизации снижения атмосферного загрязнения городов и промышленных узлов, которая представляет определенную последовательность действий и состоит из ряда этапов.

Собираются (или используются готовые) исходные данные об источниках загрязнения, параметрах выбросов в соответствии с ГОСТ 17.2.3.02-78.

Рассчитываются в соответствии с ОНД-86 исходные (без мероприятий) поля приземных концентраций от источников выбросов в ареале ТЭС.

Если приземные концентрации выше норм, то составляется перечень технически возможных атмосфероохранных мероприятий на источниках выбросов в ареале ТЭС (включая ТЭС и котельные). К таким мероприятиям относятся установка очистных сооружений, внедрение малоотходных или энергосберегающих технологий, замена топлива, переход с мелких на крупные источники централизованного теплоснабжения, режимно-наладочные мероприятия, усиление рассеивающего эффекта, а в некоторых случаях даже вынос или передислокация производства, если иные меры не обеспечивают норматива загрязнения. На этом же этапе рассчитываются последствия реализации каждого мероприятия: снижаемый выброс и ущерб, экономический эффект, потребность в финансовых и материальных ресурсах. Вся эта информация заносится в специальные формы экологические паспорта источников атмосферного загрязнения.

На основании разработанной во ВНИИПИЭнергопроме типовой модели [27] оптимизации атмосфероохранных мероприятий и всей собранной информации составляется модель для данного конкретного города. Целевая функция модели требует максимизации экономического эффекта от реализации искомого комплекса мероприятий. Остальные уравнения и неравенства обеспечивают соблюдение ограничений на финансовые и материальные ресурсы в процессе генерирования и сравнения различных комплексов атмосфероохранных мероприятий.

Численная реализация модели на ЭВМ осуществляется по специальному алгоритму с применением методов линейного программирования и «ветвей и границ». В результате определяется оптимальный комплекс мероприятий, удовлетворяющий заданным ограничениям и обеспечивающий максимум экономического эффекта. Результаты расчета на ЭВМ содержат информацию о том, какие мероприятия, в каком объеме и на каких источниках должны быть реализованы. Там же указываются значение снижаемого ущерба, сумма экономического эффекта от внедрения мероприятий, потребность в капиталовложениях и других ресурсах.

Определяется новое значение выбросов, которое останется после внедрения найденного комплекса мероприятий, и снова выполняется расчет приземных концентраций. Если в результате осуществления этих мероприятий концентрация вредных веществ останется выше ПДК, в модель вводятся требования дальнейшего снижения ущерба, причиняемого источниками выбросов, что,

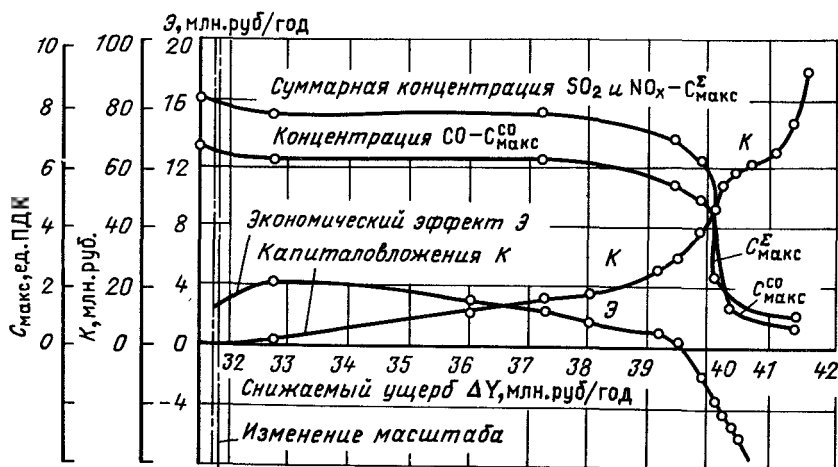


Рис. 7.3. Характерные результаты оптимизации снижения атмосферного загрязнения города (тенденция изменения эколого-экономических показателей оптимальных комплексов атмосфероохранных мероприятий). Цифры на графике условные

естественно, вызывает увеличение объема распределяемых ресурсов. В результате ЭВМ выбирает более радикальный, но наиболее экономичный при новых ограничениях комплекс мероприятий. Затем рассчитывается соответствующее новым значениям выброса поле приземных концентраций. Цикл повторяется до тех пор, пока не будет достигнуто значение ПДК или другого заданного уровня в точке максимума либо не будут исчерпаны ограниченные ресурсы.

Последовательность таких расчетов является по своей сути численным экспериментом, позволяющим моделировать атмосфероохранную стратегию в городе или промышленном зале. При этом определяется связь между принимаемыми решениями и их экономическими и экологическими последствиями. Под последними понимается снижение расчетной концентрации вредных веществ в приземном слое атмосферного воздуха и уменьшение ущерба окружающей среде.

На рис. 7.3 в условных единицах приведены характерные типовые результаты оптимизации атмосфероохранной стратегии в городе N в виде зависимостей изменения приземных концентраций от снижаемого ущерба и потребности в капиталовложениях, необходимых для реализации мероприятий. На график нанесены линии изменения материальных ресурсов в зависимости от требуемого уровня снижаемых концентраций. Показан ход изменения экономического эффекта по мере снижения приземных концентраций.

Кривые построены по точкам — результатам численных экспериментов. Каждая точка соответствует определенному комплексу мероприятий, который при данных ограничениях на ресурсы является оптимальным, обеспечивая максимум экономического эффекта или практически минимум приведенных

затрат с учетом ущерба и прочих экономических результатов. Например, точки, соединенные вертикальной линией при $\Delta Y = 39,9$ млн. руб/год, соответствуют комплексу мероприятий стоимостью 40 млн. руб., способствующих снижению расчетной приземной концентрации суммы SO_2 и NO_x с 8,5 до 6,2; CO — с 6,8 до 5,9 ед. ПДК. Экономический эффект реализации этого комплекса мероприятий отрицателен и составляет 1,8 млн. руб. в год. Несмотря на отрицательное значение, экономический эффект данного комплекса все же выше любого иного при лимите капиталовложений 40 млн. руб.

Таким образом, соединенные линиями точки характеризуют различные оптимальные варианты плана оздоровления города. Сами линии не являются интерпретацией непрерывной функции. Как видно из графика, нормативы ПДК достигают при $\Delta Y = 41$ млн. руб/год, капиталовложениях 60 млн. руб. — значении, близком к минимально возможному. Если нет ограничений на капитальные вложения и другие соответствующие ресурсы, данный комплекс мероприятий может быть как наиболее экономичный из всех, обеспечивающих ПДК, утвержден в качестве плана, являющегося региональным и отраслевым (по предприятиям). Выбросы предприятий, оставшиеся после реализации этого комплекса мероприятий, являются оптимальными нормами ПДВ, соответствующими формулировке ГОСТ 17.2.3.02-78.

В результате применения методики оптимизации определяются все основные вопросы стратегии оздоровления воздушного бассейна в городе, в том числе:

перечень стационарных (функционирующих, расширяемых и вновь вводимых) и передвижных источников загрязнения атмосферы, на которых следует проводить мероприятия с указанием конкретных мер и объема их применения на каждом или на группе одинаковых источников, включая объекты энергетики;

экономически обоснованные оптимальные нормы ПДВ (ВСВ) для каждого источника загрязнения атмосферы и очередность внедрения мероприятий;

общая сумма капиталовложений, объемы материальных, трудовых и энергетических ресурсов для оздоровления воздушного бассейна в зависимости от заданного значения приземных концентраций в целом по городу, по отраслям и отдельным источникам выбросов;

сумма ущерба, предотвращаемого в результате рассматриваемых комплексов мероприятий.

К настоящему времени методика была опробована авторами на ряде городов и выработанные на ее основании нормативы были приняты местными органами.

К недостаткам применения описанной методики относятся ее следующие особенности.

Вычисляемые по [25] конкретные экологические ущербы, на которых построена оптимизация, весьма приблизительно отражают истинную картину вещей. Это обстоятельство терпимо при оптимизации в пределах одного или двух родственных (SO_2 , NO_2) компонентов. При наличии разнородных по своей природе загрязнителей достоверность результатов снижается. Так, по одному из городов, где обусловленные ТЭЦ измеренные концентрации оксидов серы и азота, а также золы топлива была ниже ПДК,

рассчитанный по [25] экологический ущерб оказался в 2 раза больше ущерба, наносимого нефтехимией, обусловленные которой концентрации были на порядок выше ПДК.

Раздел восьмой

ГАЗООЧИСТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

8.1. ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ

Настоящий раздел написан по материалам пособия по проектированию, разработанного сотрудниками ВНИИПИЭнергопром и ВТИ А. М. Комаровым, Л. И. Кроппом и Г. С. Чекановым.

Для высокоэффективной очистки газов на ТЭЦ применяются горизонтальные многопольные электрофильтры ЭГА1 и ЭГА2 совместной советско-чехословацкой разработки (серия «Дружба»).

Характеристики электрофильтров приведены в табл. 8.1, основные размеры показаны на рис. 8.1 и в табл. 8.2. Буквы в типоразмере обозначают: Э — электрофильтр, Г — горизонтальный, А — модификация. Следующие далее цифры означают: 1 или 2 — число секций; 10 — 88 — число проходов; 6 — 12 — номинальная высота; 4 — 6 — число элементов в осадительном электроде; 2 — 4 — число полей.

Выбор требуемого типоразмера выполняется, исходя из объема очищаемых дымовых газов и требуемой степени золоулавливания. На рис. 8.2 показана зависимость степени очистки газов от времени их пребывания в активной зоне электрофильтра. Объем активной зоны аппарата определяют по формуле $V = Q\tau$, где Q — расход дымовых газов при номинальной нагрузке, $\text{м}^3/\text{с}$; τ — время пребывания газов в активной зоне, определяемое по графику рис. 8.2.

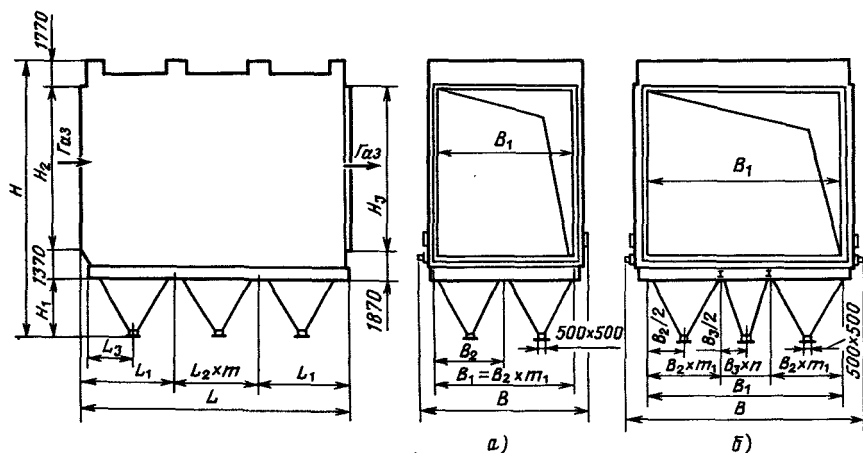


Рис. 8.1. Электрофильтры типа ЭГА:
а — односекционные; б — двухсекционные

Таблица 8.1. Техническая характеристика электрофильтров

Тип электрофильтров	Площадь активного сечения, м ²	Поверхность осаждения, м ²	Разрежение, КПа	Верхний предел концентрации пыли, г/м ³	Габаритные размеры, мм	Масса, т	
						общая	в том числе оборудования (не более)
Односекционные электрофильтры							
ЭГА1-10-6-4-2-330-5		634			9260 × 4890 × 12 400	36,9	15,9
ЭГА1-10-6-4-3-330-5		952			13 440 × 4890 × 12 400	55,3	23,5
ЭГА1-10-6-6-2-330-5	16,5	952	5 (500)	50	11 820 × 4920 × 13 400	48,6	20,6
ЭГА1-10-6-6-3-330-5		1428			17 280 × 4920 × 13 400	69,8	30,6
ЭГА1-14-7,5-4-3-330-5		1656			13 440 × 6120 × 13 900	73,3	33,3
ЭГА1-14-7,5-4-4-330-5		2208			17 620 × 6120 × 13 900	95,2	44,2
ЭГА1-14-7,5-6-2-330-5	28,7	1656	5 (500)	50	11 820 × 6190 × 14 900	86,8	30
ЭГА1-14-7,5-6-3-330-5		2484			17 280 × 6190 × 14 900	95,9	44,6
ЭГА1-20-7,5-4-3-330-5		2366			13 440 × 7920 × 15 400	96,2	44,5
ЭГА1-20-7,5-4-4-330-5		3152			17 620 × 7920 × 15 400	124	58,9
ЭГА1-20-7,5-6-2-330-5	41	2366	5 (500)	50	11 820 × 7990 × 15 400	84,8	40,6
ЭГА1-20-7,5-6-3-330-5		3549			17 280 × 7990 × 15 400	121,3	60,3
ЭГА1-20-9-6-2-330-5		2826			11 820 × 7990 × 16 900	99	46,8
ЭГА1-20-9-6-3-330-5	49	4239	5 (500)	50	17 280 × 7990 × 16 900	142,1	69,6
ЭГА1-20-9-6-4-330-5		5652			22 740 × 7990 × 16 900	185,3	92,4
ЭГА1-30-7,5-4-3-330-5		3549			13 440 × 10 950 × 14 900	139,9	85,5
ЭГА1-30-7,5-4-4-330-5		4732			17 620 × 10 950 × 14 900	181,8	86,8
ЭГА1-30-7,5-6-2-330-5	61,4	3549	5 (500)	50	11 820 × 10 990 × 14 900	122,5	59,8
ЭГА1-30-7,5-6-3-330-5		5322			17 280 × 10 990 × 14 900	176,5	88,9
ЭГА1-30-9-6-2-330-5		4240			11 820 × 10 990 × 16 400	139,8	59,2
ЭГА1-30-9-6-3-330-5	73,4	6360	5 (500)	50	17 280 × 10 990 × 16 400	201,3	102,9
ЭГА1-30-9-6-4-330-5		8480			22 740 × 10 990 × 16 400	262,7	136,6
ЭГА1-30-12-6-3-330-5	97,4	8433	5 (500)	50	17 280 × 10 990 × 19 400	240,2	128
ЭГА1-30-12-6-4-330-5		11 244			22 740 × 10 990 × 19 400	313,5	170

Тип электрофильтров	Пло- щадь актив- ного со- чения, м ²	Поверх- ность осаж- дения, м ²	Разреже- ние, КПа	Верхний предел концентра- ции пыли, г/м ³	Габаритные размеры, мм	Масса, т	
						общая	в том чис- ле оборудо- вания (не более)
ЭГА1-40-7,5-4-3-330-5		4731			13 440 × 13 920 × 15 400	172,2	85,5
ЭГА1-40-7,5-4-4-330-5		6308			17 620 × 13 920 × 15 400	223,8	113,4
ЭГА1-40-7,5-6-2-330-5	81,9	4731	5 (500)	50	11 820 × 13 990 × 15 400	150	78,6
ЭГА1-40-7,5-6-3-330-5		7095			17 280 × 13 990 × 15 400	217,3	117
ЭГА1-40-9-6-2-330-5		5652			11 820 × 13 990 × 16 900	170,5	90,6
ЭГА1-40-9-6-3-330-5	97,9	8478	5 (500)	50	17 280 × 13 990 × 16 900	244	134,8
ЭГА1-40-9-6-4-330-5		11 304			22 740 × 13 990 × 16 900	322,9	178
ЭГА1-40-12-6-3-330-5	129,8	11 244	5 (500)	50	17 280 × 13 990 × 19 900	296,5	166,6
ЭГА1-40-12-6-4-330-5		14 992			22 740 × 13 990 × 19 900	387,7	221,2
Двухсекционные электрофильтры							
ЭГА2-48-12-6-3-330-5	156,8	13 494	5 (500)	50	17 280 × 17 540 × 19 900	364,5	206,7
ЭГА2-48-12-6-4-330-5		17 992			22 740 × 17 540 × 19 900	476,4	274,5
ЭГА2-56-12-6-3-330-5	181,7	15 738	5 (500)	50	17 280 × 19 940 × 19 900	413,8	240,7
ЭГА2-56-12-6-4-330-5		20 984			22 740 × 19 940 × 19 900	544,4	319,6
ЭГА2-76-12-6-3-330-5	246,6	21 360	5 (500)	50	17 280 × 25 940 × 19 900	532,1	316,9
ЭГА2-76-12-6-4-330-5		28 480			22 740 × 25 940 × 19 900	696,2	420,8
ЭГА2-88-12-6-3-330-5	285,6	24 732	5 (500)	50	17 280 × 29 540 × 19 900	623,7	369,2
ЭГА2-88-12-6-4-330-5		32 976			22 740 × 29 540 × 19 900	817,3	490,4

Примечание. Активная длина поля при четырех элементах в осадительном электроде равна $0,64 \times 4 = 2,56$ м, а при шести элементах $0,64 \times 6 = 3,84$ м (0,64 м — ширина одного элемента).

Таблица 8.2. Габаритные и присоединительные размеры электрофильтров, мм

Тип электрофильтров	L	L ₁	L ₂	L ₃	B	B ₁	B ₂	B ₃	n	n ₁	n ₂	n ₃	K	m	n
Односекционные электрофильтры															
ЭГА1-10-6-4-2-330-5	9360	4330		2240	4890	3200	3200		12 400	2630	6000	5500	—	—	—
ЭГА1-10-6-4-3-330-5	13 440	4330	4180	2240	4890	3200	3200	—	12 400	2630	6000	5500	1	—	—
ЭГА1-10-6-6-2-330-5	11 280	5610	—	2880	4920	3200	3200	—	13 400	3630	6000	5500	—	1	—
ЭГА1-10-6-6-3-380-5	17 280	5610	5460	2880	4920	3200	3200	—	13 400	3630	6000	5500	1	—	—
ЭГА1-14-7,5-4-3-330-5	13 440	4330	4180	2240	6120	4400	4400		13 900	2630	7500	7000	1	—	—
ЭГА1-14-7,5-4-4-330-5	17 620	4330	4180	2240	6120	4400	4400	—	13 900	2630	7500	7000	2	1	—
ЭГА1-14-7,5-6-2-330-5	11 820	5610		2880	6190	4400	4400	—	14 900	3630	7500	7000	—	—	—
ЭГА1-14-7,5-6-3-330-5	17 280	5610	5460	2880	6190	4400	4400		14 900	3630	7500	7000	1	—	—
ЭГА1-20-7,5-4-3-330-5	13 440	4330	4180	2240	7920	6200	6200	—	15 400	4130	7500	7000	1	—	—
ЭГА1-20-7,5-4-4-330-5	17 620	4330	4180	2240	7920	6200	6200	—	15 400	4130	7500	7000	2	—	—
ЭГА1-20-7,5-6-2-330-5	11 820	5610	—	2880	7990	6200	6200	—	15 400	4130	7500	7000	—	1	—
ЭГА1-20-7,5-6-3-330-5	17 280	5610	5440	2880	7990	6200	6200	—	15 400	4130	7500	7000	1	—	—
ЭГА1-20-9-6-2-330-5	11 820	5610	—	2880	7990	6200	6200	—	16 900	4130	9000	8500	—	—	—
ЭГА1-20-9-6-3-330-5	17 280	5610	5460	2880	7990	6200	6200	—	16 900	4130	9000	8500	1	—	—
ЭГА1-20-9-6-4-330-5	22 740	5610	5460	2880	7990	6200	6200	—	16 900	4130	9000	8500	2	1	—
ЭГА1-30-7,5-4-3-330-5	13 440	4330	4180	2240	10 950	9200	4600	—	14 900	3690	7500	7000	1	—	—
ЭГА1-30-7,5-4-3-330-5	17 620	4330	4180	2240	10 950	9200	4600	—	14 900	3690	7500	7000	2	—	—
ЭГА1-30-7,5-6-2-330-5	11 820	4330		2880	10 990	9200	4600	—	14 900	3630	7500	7000	—	2	—
ЭГА1-30-7,5-6-3-330-5	17 280	4330	5460	2880	10 990	9200	4600	—	14 900	3690	7500	7000	1	—	—
ЭГА1-30-9-6-2-330-5	11 820	5610		2880	10 990	9200	4600	—	16 400	3630	9000	8500	—	—	—
ЭГА1-30-9-6-3-330-5	17 280	5610	5460	2880	10 990	9200	4600	—	16 400	3630	9000	8500	1	—	—
ЭГА1-30-9-6-4-330-5	22 740	5610	5460	2880	10 990	9200	4600	—	16 400	3630	9000	8500	2	—	—
ЭГА1-30-12-6-3-330-5	17 280	5610	5460	2880	10 990	9200	4600	—	19 400	3630	12 000	11 500	1	—	—
ЭГА1-30-12-6-4-330-5	22 740	5610	5460	2880	10 990	9200	4600	—	19 400	3630	12 000	11 500	2	—	—
ЭГА1-40-7,5-4-3-330-5	13 440	4330	4180	2240	13 920	12 200	6100		15 400	4130	7500	7000	1	—	—
ЭГА1-40-7,5-4-4-330-5	17 620	4330	4180	2240	13 920	12 200	6100		15 400	4130	7500	7000	2	—	—

Тип электрофильтров	L	L ₁	L ₂	L ₃	B	B ₁	B ₂	B ₃	n	n ₁	n ₂	n ₃	K	m	n
ЭГА1-40-7,5-6-2-330-5	11 820	5610		2880	13 990	12 200	6100		15 400	4130	7500	7000	—	2	
ЭГА1-40-7,5-6-3-330-5	17 280	5610	5460	2880	13 990	12 200	6100		15 400	4130	7500	7000	1		
ЭГА1-40-9-6-2-330-5	11 820	5610	—	2880	13 990	12 200	6100		16 900	4130	9000	8500			
ЭГА1-40-9-6-3-330-5	17 280	5610	5460	2880	13 990	12 200	6100	—	16 900	4130	9000	8500	1		
ЭГА1-40-9-6-4-330-5	22 740	5610	5460	2880	13 990	12 200	6100	—	16 900	4130	9000	8500	2	2	—
ЭГА1-40-12-6-3-330-5	17 280	5610	5460	2880	13 990	12 200	6100	—	19 900	4130	12 000	11 500	1		
ЭГА1-40-12-6-4-330-5	22 740	5610	5460	2880	13 990	12 200	6100		19 900	4130	12 000	11 500	2	2	—
ЭГА2-48-12-6-3-330-5	17 280	5610	5460	2880	17 540	15 200	6200	3200	19 900	4130	12 000	11 500	1		
ЭГА2-48-12-6-4-330-5	22 740	5610	5460	2880	17 540	15 200	6000	3200	19 900	4130	12 000	11 500	2	1	1
ЭГА2-56-12-6-3-330-5	17 280	5610	5460	2880	19 940	17 600	5800	6000	19 900	4130	12 000	11 500	1		
ЭГА2-56-12-6-4-330-5	22 740	5610	5460	2880	19 940	17 600	5800	6000	19 900	4130	12 000	11 500	2	1	1
ЭГА2-76-12-6-3-330-5	17 280	5610	5460	2880	25 940	23 600	6000	5800	19 900	4130	12 000	11 500	1		
ЭГА2-76-12-6-4-330-5	22 740	5610	5460	2880	25 940	23 600	6000	5800	19 900	4130	12 000	11 500	2	1	2
ЭГА2-88-12-6-3-330-5	17 280	5610	5460	2880	29 540	27 200	6000	3200	19 900	4130	12 000	11 500	1		
ЭГА2-88-12-6-4-330-5	22 740	5610	5460	2880	29 540	27 200	6000	3200	19 900	4130	12 000	11 500	2	2	1

Двухсекционные электрофильтры

Примечание. Комплект поставки: внутреннее оборудование - транспортно-абсорбционные блоки; дополнительное оборудование (дополнительные газораспределительные решетки, механизмы встраивания решеток, люки и др.) в соответствии с утвержденным перечнем по специальному требованию заказчика на основании заявки спецификации.

Корпуса электрофильтров, устройства выгрузки пыли в комплект поставки не входят.

Изготовитель — Семибратовский экспериментальный завод газоочистительной аппаратуры (пос. Семибратово Ярославской обл.).

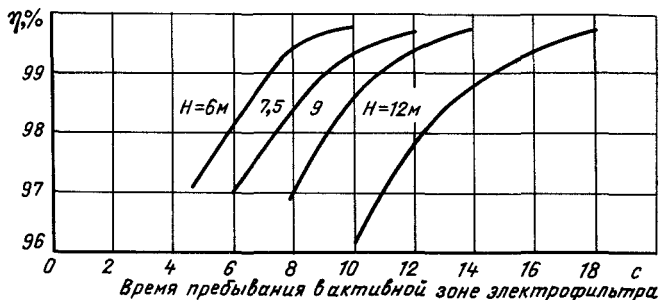


Рис. 8.2. Зависимость КПД электрофильтров от времени пребывания газов в активной зоне

Приведенный расчет ориентирован на золу с благоприятными электрофизическими свойствами. Имеется ряд топлив, приведенное содержание которых $S_n < 0,3$ и приведенная влажность $W_n < 2$, зола которых при обычных температурах уходящих газов 120–150°С обладает высоким удельным электрическим сопротивлением (выше 10^{11} Ом·см) и поэтому плохо улавливается электрофильтрами (угли Экибастузского, большей части Кузнецких и других месторождений). Для подобных топлив следует увеличить активный объем примерно в 1,5 раза.

Для уменьшения удельного электрического сопротивления золы и повышения КПД электрофильтров используется добавка в дымовые газы кондиционирующих веществ: воды, аммиака, триоксиды серы и др. По мнению ВТИ, наиболее рациональным является температурно-влажностное кондиционирование, при котором дымовые газы одновременно и увлажняются, и охлаждаются. Для температурно-влажностного кондиционирования дымовых газов котлов, сжигающих высокосольный экибастузский уголь, следует применять установку перед электрофильтром мокрых золоуловителей, которые обеспечивают очистку газов на 96–97%. Мокрые золоуловители, устанавливаемые перед электрофильтрами, рассчитываются, исходя из необходимости охлаждения дымовых газов до температуры 90°С и должны обеспечиваться средствами автоматического регулирования расхода орошающей воды для поддержания неизменной температуры газов перед электрофильтрами при изменении температуры уходящих газов, нагрузке котла и т. д. Для кондиционирования дымовых газов кузнецких углей целесообразно прямое испарение влаги в газоходах перед электрофильтром. Для кондиционирования рекомендуется использовать осветленную воду из системы ГЗУ.

8.2. БАТАРЕЙНЫЕ ЦИКЛОНЫ

8.2.1. Батарейные циклоны БЦУ-М

Эти циклоны и циклоны других модификаций применяются для топлив с приведенной зольностью не выше 5% в случаях, когда можно удовлетвориться КПД золоулавливания на уровне 93–95%.

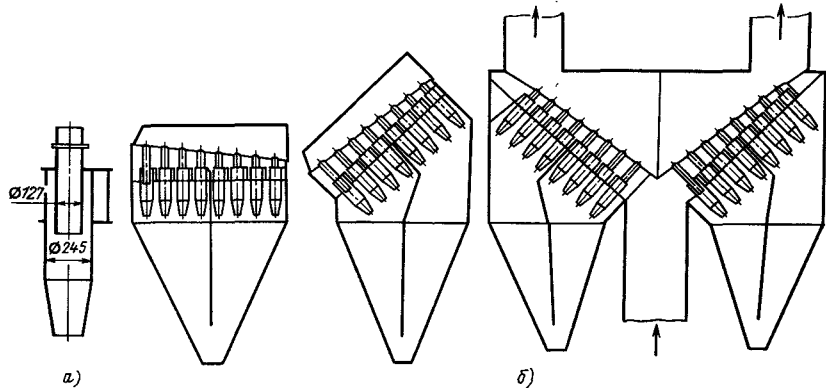


Рис. 8.3. Батарейный циклон БЦУ-М:

а — циклонный элемент; *И, II, III* — компоновки в соответствующем исполнении; *б* — углы разворота циклонов

Батареи БЦУ-М набираются из элементов внутренним диаметром 131 мм (рис. 8.3). БЦУ-М различаются числом секций, числом циклонных элементов по глубине и ширине. Кроме того, по компоновке различаются три типа исполнения: *I* — с вертикальной установкой циклонов, *II* — с угловой и *III* — в расщелку (рис. 8.3). В маркировке типоразмера первая цифра означает число секций, вторая — число элементов в глубину, *т* — в ширину; римская цифра — исполнение. Основные характеристики БЦУ-М приведены в табл. 8.3 и 8.4. Приведенный в таблицах расход газов определен применительно к оптимальной скорости в живом сечении циклона, которая составляет 4,5 м/с. При выборе типоразмера объем газов при номинальной нагрузке котла должен соответствовать табличному. Повышение расхода (скорости) вызовет некоторое повышение степени очистки, но возрастет также гидравлическое сопротивление. При снижении скорости степень очистки уменьшается.

Коэффициент гидравлического сопротивления циклонов равен 130. При скорости 4,5 м/с и температуре газов 145°С это соответствует гидравлическому сопротивлению 1,15 КПа (115 мм вод. ст.).

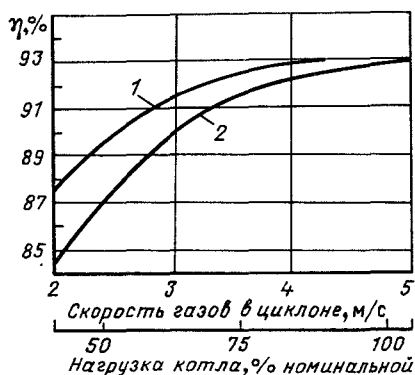


Рис. 8.4. Зависимость степени очистки газов в батарейном циклоне БЦУ-М от скорости газов в циклоне:

1, 2 — с рециркуляцией и без нее

В случае применения батарейных циклонов для водогрейных котлов может быть принята скорость, несколько превышающая оптимальную, например 4,8 м/с. Кроме того, может быть применена установка системы рециркуляции с отсосом газов (до 15–20% номинального расхода). Другим вариантом является установка шиберов для перекрытия отдельных секций батарейного циклона при сниженных нагрузках.

На рис. 8.4 показана зависимость КПД БЦУ-М от скорости газов (здесь максимальная скорость 4,8 м/с).

Таблица 8.3. Сводная характеристика БЦУ-М

Группа	Число элементов по ширине	Число элементов по глубине	Число секций	Маркировка*
1	7—15	10	1	$1 \times 10 \times m-I$
1	7—15	10	1	$1 \times 10 \times m-II$
1	7—15	10	2	$2 \times 10 \times m-I$
1	7—15	10	2	$2 \times 10 \times m-II$
1	7—15	10	2	$2 \times 10 \times m-III$
1	7—15	10	4	$4 \times 10 \times m-I$
1	7—15	10	4	$4 \times 10 \times m-II$
1	7—15	10	4	$4 \times 10 \times m-III$
2	7—15	12	2	$2 \times 12 \times m-I$
2	7—15	12	2	$2 \times 12 \times m-II$
2	7—15	12	2	$2 \times 12 \times m-III$
2	7—15	12	4	$4 \times 12 \times m-I$
2	7—15	12	4	$4 \times 12 \times m-II$
2	7—15	12	4	$4 \times 12 \times m-III$
2	7—15	14	4	$4 \times 14 \times m-I$
2	7—15	14	4	$4 \times 14 \times m-II$
2	7—15	14	4	$4 \times 14 \times m-III$
3	10—15	14	6	$6 \times 14 \times m-I$
3	10—15	14	6	$6 \times 14 \times m-II$
3	10—15	14	6	$6 \times 14 \times m-III$

* Римская цифра обозначает тип исполнения.

Таблица 8.4. Характеристика мощных БЦУ-М

Типоразмер	Число секций	Число циклонных элементов				Суммарное сечение циклонных элементов	Расход газов, м³/с
		по глубине	по ширине	в каждой секции	общее		
$4 \times 14 \times 7$	4	14	7	98	392	16,42	74
$4 \times 14 \times 8$	4	14	8	112	448	18,77	84
$4 \times 14 \times 9$	4	14	9	126	504	12,12	95
$4 \times 14 \times 10$	4	14	10	140	560	23,46	106
$4 \times 14 \times 11$	4	14	11	154	616	25,81	116
$4 \times 14 \times 12$	4	14	12	168	672	28,16	127
$4 \times 14 \times 13$	4	14	13	182	728	30,5	187
$4 \times 14 \times 14$	4	14	14	196	784	32,85	148
$4 \times 14 \times 15$	4	14	15	210	840	35,19	158
$6 \times 14 \times 10$	6	14	10	140	840	35,19	158
$6 \times 14 \times 11$	6	14	11	154	824	38,71	174
$6 \times 14 \times 12$	6	14	12	168	1008	42,23	190
$6 \times 14 \times 13$	6	14	13	182	1092	45,75	206
$6 \times 14 \times 14$	6	14	14	196	1176	49,27	222
$6 \times 14 \times 15$	6	14	15	210	1260	52,79	238

8.2.2. Батарейные циклоны ЦБР-150-У

Циклоны разработаны Семибратовским филиалом НИИОГАЗ, имеют внутренний диаметр циклонного элемента 150 мм. Характерной особенностью является отсос примерно 8% газов из камеры сброса пыли для ликвидации перетоков между циклонными элементами. Отсасываемый газ очищается в одиночном или групповом циклоне типа ЦП-15 и дымососом возвращается на вход в циклон (рис. 8.5). Техническая характеристика типоразмерного ряда циклонов приведена в табл. 8.5. Буква Р в типоразмере обозначает

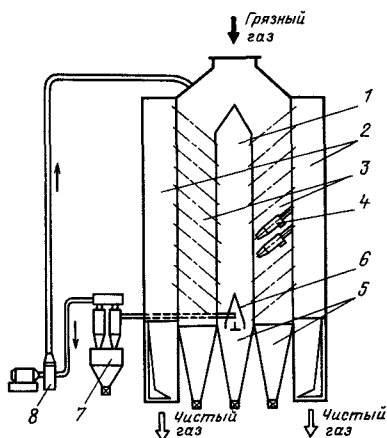
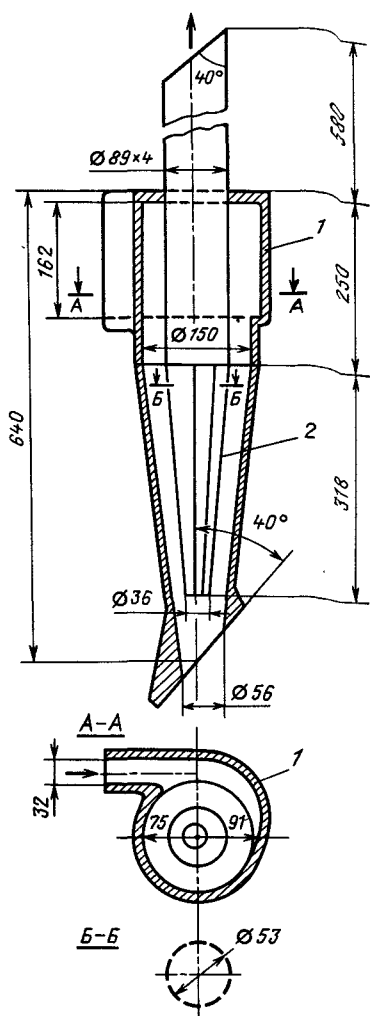


Рис. 8.5. Схема установки батарейных циклонов с рециркуляцией:

1 — пылеспускная камера; 2 — камера чистого газа; 3 — камера грязного газа; 4 — циклонный элемент; 5 — бункера; 6 — расщекатель; 7 — групповой циклон; 8 — дымо-сос рециркуляции

Рис. 8.6. Циклонный элемент:

1 — корпус из чугуна; 2 — выпускная труба



рециркуляцию, 150 — диаметр циклонного элемента; последняя цифра — число циклонных элементов (рис. 8.6). Скорость газов в циклонном элементе 4,6 — 4,7 м/с.

Техническая характеристика ЦБР-У: допустимая запыленность — 100 г/м^3 ; температура очищаемого газа не выше 400°C ; рабочее разрежение в корпусе не более 5 кПа; коэффициент гидравлического сопротивления 95; КПД — 93—96%.

Таблица 8.5. Техническая характеристика ЦБР-У

Показатель	ЦБР-У-240	ЦБР-У-320	ЦБР-У-400	ЦБР-У-480	ЦБР-У-640	ЦБР-У-800	ЦБР-У-1280	ЦБР-У-1600
Производительность (при $t = 135^\circ \text{C}$), $\text{м}^3/\text{ч}$	70 000	95 000	120 000	140 000	190 000	240 000	385 000	480 000
Число циклонных элементов	240	320	400	480	640	800	1200	1600

Показатель	ЦБР-У-240	ЦБР-У-320	ЦБР-У-400	ЦБР-У-480	ЦБР-У-640	ЦБР-У-800	ЦБР-У-1280	ЦБР-У-1600
Чис.ло секций	6	8	10	12	16	20	82	40
Чис.ло циклонов ЦН-15 в системе рециркуляции	4	4	4	6	8	2	4	4
Диаметр циклона рециркуляции	400	500	500	500	500	1000	1000	1000
Тип дымососа рециркуляции	ДН-9	ДН-9	ДН-12,5	ДН-12,5	ДН-12,5	ДН-12,5	ДН-19	ДН-19
Габаритные размеры, мм:				Исп. 1			Исп. 3	
глубина	3000	3000	3000	3000	6000	6000	6000	6000
ширина	4500	4500	4500	4500	4500	4500	9000	9000
высота	10 650	12 150	13 650	14 900	13 260	14 760	13 600	15 100
Ориентировочная масса, т (включая корпус)	28	33	38	45	63	75	126	140

8.2.3. Батарейные циклоны БЦ-512

Отличаются от БЦУ-М большим диаметром циклонного элемента 512 мм (рис. 8.7). Вместо полуулиточного завихрителя имеется четыре улиточных ввода, что приводит к повышению степени очистки и выравнивает угловую неравномерность. Уменьшение числа элементов снижает перетоки газов в бункере между элементами. Конструкция обеспечивает доступ к каждому элементу. Секция (СЭЦ-24) состоит из 24 элементов. Весь батарейный циклон состоит из шести секций. Для повышения эффективности предусматривается система отсоса и рециркуляции части дымовых газов: перед дымососом рециркуляции устанавливается прямоточный циклон ЦКТИ диаметром 2300 мм. КПД циклона БЦ-512 не меняется.

Сравнение трех рассмотренных типов батарейных циклонов показывает, что циклоны БЦУ-М обладают наименьшей металлоемкостью, а циклоны ЦБР-150 и БЦ-512 дают большую степень очистки газов.

Аппараты с большим диаметром циклонных элементов более надежны с точки зрения забивания золой.

8.3. МОКРЫЕ ЗОЛОУЛОВИТЕЛИ

8.3.1. Общие положения

Мокрые золоуловители являются наиболее распространенным видом газоочистного оборудования электростанций и применяются для производительности котельных агрегатов до 640 т/ч. В настоящее время используют разработанные Уральским отделением Союзтехэнерго мокрые золоуловители, снабженные вертикальным коагулятором Вентури круглого сечения типа МВ

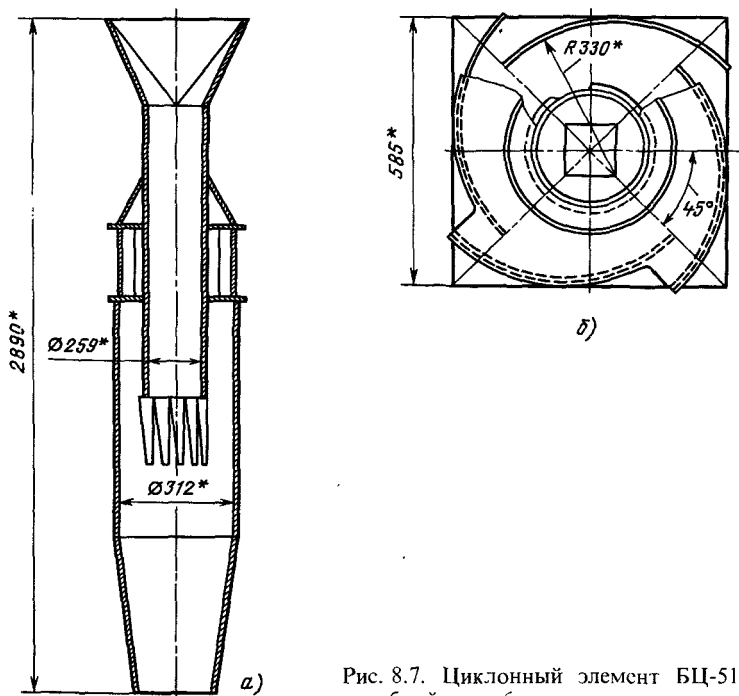


Рис. 8.7. Циклонный элемент БЦ-512:
а—общий вид; б—сечение по входу газа

и разработанные ВТИ мокрые золоуловители с горизонтальным коагулятором прямоугольного сечения типа МС. При номинальной нагрузке степень очистки МВ и МС в зависимости от температуры уходящих газов, вида топлива, дисперсного состава золы и типоразмера аппарата составляет 95–98%.

Во избежание отложений в дымососах и коррозии последующего тракта температура газов за золоуловителем для донецких, кузнецких, экибастузских, карагандинских, львовско-волынских и других каменных углей умеренной влажности не должна быть ниже 70–75°С, для бурых углей не менее 75–80°С. Значения предельных по этим показателям расходов воды даны в табл. 8.6. Испарение в мокрых золоуловителях составляет примерно 15% расхода орошающей воды.

Для орошения должна использоваться осветленная вода с золоотвала. При этом содержание оксида кальция в летучей золе должно быть не менее 20%, а произведение приведенной зольности на CaO менее 6. Для топлив $\text{CaO}_{\text{об}}$ в летучей золе выше 20% применение мокрого золоулавливания исключается. Состав орошающей воды имеет решающее значение для надежной и эффективной работы мокрых золоуловителей. Вода не должна содержать грубых механических примесей, для чего обязательна установка на орошающей воде гравийных фильтров. Недопустимо использовать воду, образующую отложение солей. Для орошения мокрых золоуловителей пригодна вода, не имеющая гидратной щелочности и содержащая менее 36 мг-экв сульфатных ионов (менее 1700

мг/кг). Если подаваемая на орошение осветленная вода в оборотных системах ГЗУ не соответствует этим показателям, необходимо предусматривать ее специальную обработку. В случаях, когда показатели орошающей воды близки к предельно допустимым, рекомендуется использовать золоуловители МС.

Таблица 8.6. Допустимые по условиям охлаждения газов удельные расходы воды на орошение золоуловителей, кг/м³

Типоразмер		Допустимая температура за золоуловителем, °С							
		70 75				75 80			
		Температура уходящих газов, °С							
		130	150	170	190	130	150	170	190
МВ	3100		0,085	0,11	0,135		—	0,09	0,115
	3300		0,085	0,11	0,125	—		0,095	0,11
	3500		0,085	0,11	0,125	—		0,095	0,11
	3700		0,085	0,105	0,125			0,09	0,11
	3900		0,080	0,105	0,125		—	0,09	0,105
	4400		0,080	0,10	0,120		—	0,085	0,105
МС	2800	0,12	0,18	0,225	—	0,1	0,15	0,185	0,225
	3000	0,12	0,175	0,22	—	—	0,145	0,18	0,22
	3200	0,12	0,175	0,215	—	—	0,14	0,175	0,22
	3600	0,11	0,16	0,22	—	—	0,135	0,17	0,20
	4000	0,11	0,15	0,19	—	—	0,12	0,16	0,19
	4500	0,10	0,15	0,185	—	—	0,125	0,16	0,19

Примечание. При удельном расходе 0,08 для МВ и 0,1 для МС применение аппарата не рекомендуется.

Степень улавливания золы (КПД) может быть существенно улучшена при 2-3-кратном увеличении интенсивности орошения коагулятора Вентури и каплеулавливающего циклона. Однако это приводит к снижению температуры газов до температуры точки росы и перевода паров во влажное состояние. Как следствие — отложение золы и коррозия. Поэтому увеличение орошения требует последующего подогрева газов (~20°С) до уровня, обеспечивающего снятие указанных выше негативных явлений.

8.3.2. Мокрые золоуловители МВ

Золоуловитель МВ (рис. 8.8) состоит из вертикально расположенного круглого коагулятора Вентури и циклона каплеуловителя. Основная масса частиц летучей золы осаждается (коагулирует) на каплях распыленной через форсунки воды.

Каплеуловитель представляет собой центробежный скруббер с нижним тангенциальным вводом газов и пленочным орошением внутренних стенок из сопел, расположенных в верхней части корпуса.

Аппараты МВ представлены шестью типоразмерами (табл. 8.7).

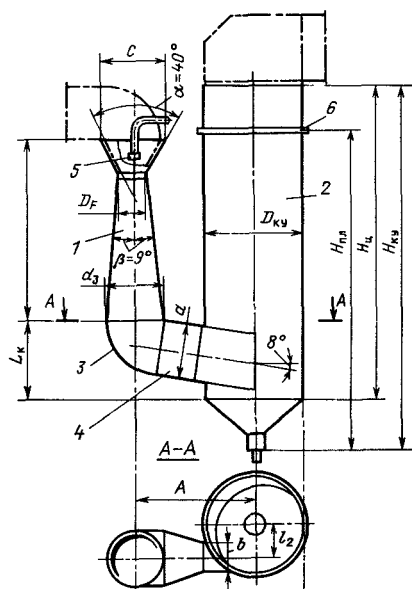


Рис. 8.8. Мокрый золоуловитель MB:

1 — коагулятор Вентури; 2 — каплеуловитель; 3 — колено; 4 — переход; 5 — орошение коагулятора; 6 — орошение каплеуловителя

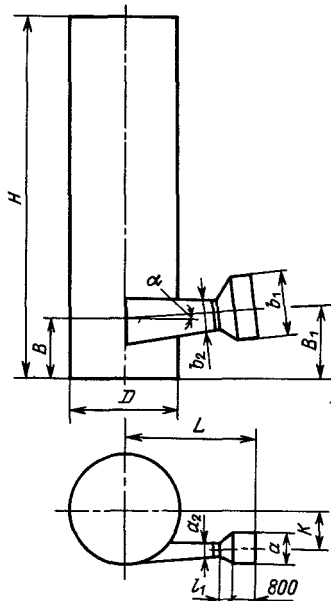


Рис. 8.9. Мокрый золоуловитель MC

Таблица 8.7. Проектные параметры и основные технико-экономические показатели аппаратов MB

Показатель	MB-3100 (3200)	MB-3100 (3400)	MB-3500 (3600)	MB-3700 (3800)	MB-3900 (4000)	MB-4400 (4500)
Внутренний диаметр скруббера в металле, мм	3200	3400	3600	3800	4000	4500
Расход газов (номинальный при скорости в горловине 68 м/с), тыс. м ³ /ч	100 114 (110)	115— 129 (122)	130—145 (140)	146—162 (165)	163—180 (175)	181—208 (194)
Расход воды на орошение, т/ч	5	5,4	5,7	6	6,3	7
Основные размеры, мм:						
D_1	750	800	850	900	950	1000
D_{ky}	3100	3300	3500	3700	3900	4400
H_{ky}	10 750	11 400	12 000	12 650	13 300	13 700
$H_{ц}$	8850	9400	9900	10 450	11 000	11 750
$H_{пп}$	8450	8950	95 000	10 000	10 550	11 300
L_K	2430	2574	2714	2560	2998	3216
$L_{кв}$	5320	5660	6000	6340	6680	7020
A	3300	3450	3600	3700	3800	4150

Примечание. В скобках даны параметры второго габарита, например, MB-3200 соответствует расходу 110 тыс. м³/ч.

Важнейшим критерием является скорость газов, номинальное значение которой для горловины Вентури 68 м/с с отклонением 60—75 м/с.

Удельный расход воды на орошение коагулятора Вентури 0,09—0,11 кг/м³, удельный расход электроэнергии 1,4—2 МДж/тыс. м³. Удельные металлоемкость и стоимость соответственно 0,10—0,12 т·ч/тыс. м³ и 130—160 руб·ч/тыс. м³.

8.3.3. Мокрые золоуловители МС

Мокрый скоростной золоуловитель МС-ВТИ состоит из коагулятора прямоугольного сечения, расположенного под углом 8° к горизонту, который непосредственно, без переходного участка присоединяется тангенциально к каплеуловителю (рис. 8.9). Для орошения газов перед конфуззором установлены в зависимости от типоразмера три или четыре форсунки. Так же как в аппаратах МВ, основная масса частиц золы осаждается на каплях распыленной воды. Каплеуловитель аппарата МС такой же, как у аппарата МВ. Аппараты МС представлены шестью типоразмерами (табл. 8.8). У этих аппаратов за нормальную скорость в горловине принято 54 м/с с отклонением 48—60 м/с, скорость в сечении каплеуловителя 4 м/с. Удельный расход воды на орошение трубы Вентури не менее 0,1 кг/м³ и на орошение каплеуловителей 0,03—0,05 кг/м³. Удельный расход энергии 1,2—1,5 МДж/тыс. м³, удельная стоимость 70—100 руб·ч/тыс. м³.

Золоуловители МС могут применяться при содержании в летучей золе менее 20% СаО и приведенных серо- и золосодержаний: $s^П < 1$ и $A^П < 9\%$.

Таблица 8.8. Основные технологические и конструктивные показатели аппаратов МС-ВТИ

Показатель	МС-2800	МС-3000	МС-3200	МС-3600	МС-4000	МС-4500
Расход газов через аппарат (номинальный при скорости газов в горловине ТКВ 54 м/с), тыс. м ³ /ч	80—95 (90)	96—115 (108)	116—139 (128)	140—175 (160)	176—220 (200)	221—275 (250)
Расход воды на орошение ЦС, т/ч	4,4	4,7	5	5,7	6,3	7
Расход металла на аппарат, т	7	8	9,1	11,5	14,2	18
Вес аппарата, т:						
рабочий	15,3	17,25	20,1	24,6	29,9	37,8
при аварийном переполнении водой	27	32	36	49	70	80
Удельная металлоемкость, т/(тыс. м ³ /ч)	0,078	0,074	0,073	0,072	0,071	0,072
Основные размеры, мм:						
a_1	842	930	1005	1020	1135	1295
B_1	1620	1790	1935	2365	2640	3000
a_2	390	430	465	490	500	570
B_2	1170	1290	1395	1800	2000	2200
L	3750	4070	4310	4540	4930	5490
B	1550	1680	1750	2040	2260	2490
K	930	980	1040	1230	1380	1550

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1975.
2. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ в выбросах предприятий. ОНД-86. Госкомгидромет. Л.: Гидрометеиздат, 1987.
3. Внуков А. К., Альшевский В. Н., Рыков А. Н. Трансформация в атмосфере и токсичные свойства окислов азота, выбрасываемых ТЭС//Электрические станции. 1984. № 2. С. 15—18.
4. Гуревич Н. А., Сигал И. Я., Домбровская Э. П. Озонно-диффузионный режим превращения NO в NO₂ в дымовых струях электростанций//Теплоэнергетика. 1983. № 8. С. 15—19.
5. Андреев В. С., Горошко Б. Б., Павленко А. А. Исследование процессов трансформации окислов азота под факелом ГРЭС/Тр. Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова. Вып. 436. Л.: Гидрометеиздат, 1979. С. 43—47.
6. Уорк К., Уорнер С. Загрязнение воздуха. М.: Мир, 1980.
7. Энергетика и охрана окружающей среды/Под ред. Н. Г. Залогина, Л. И. Кроппа, Ю. М. Кострикина. М.: Энергия, 1979.
8. Временные указания по определению фоновых концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе для нормирования выбросов и установление предельно допустимых выбросов. М.: Гидрометеиздат, 1981.
9. Заключение рабочей группы по проекту «Методические указания по гигиеническому обоснованию предельно допустимых концентраций атмосферных загрязнений» от 27—30 мая 1986 г.//Гигиена и санитария. 1987. № 1. С. 72—74.
10. Методические рекомендации по определению реальной нагрузки на человека химических веществ, поступающих с атмосферным воздухом, водой и пищевыми продуктами. Минздрав СССР, М.: 1986. Утверждено санитарно-эпидемиологическим управлением Минздрава СССР. № 2983-84. 30.03.84.
11. Стырикович М. А., Внуков А. К., Розанова Ф. А. К проблеме нормирования качества атмосферы//Теплоэнергетика. 1987. № 12. С. 24—27.
12. Гигиена окружающей среды/Под ред. Г. И. Сидоренко. М.: Медицина, 1985.
13. Берлянд М. Е., Безуглая Э. Ю., Генихович Е. Л. О методах определения фонового загрязнения атмосферы в городах. Л.: Гидрометеиздат/Тр. Главной геофизической лаборатории им. А. И. Воейкова. Вып. 479. 1984. С. 17—30.
14. Пинигин М. А. О понятии «характер комбинированного действия» как основе гигиенической оценки//Гигиена и санитария. 1986. № 1. С. 45—48.
15. Андреева А. Н. Анализ материалов по определению порога запаха веществ при обосновании их максимально разовых ПДК в атмосферном воздухе и вероятностная оценка их методом пробит анализа//Гигиена и санитария. 1977. № 8. С. 69—73.
16. Сборник законодательных нормативных и методических документов для экспертизы воздухоохраных мероприятий. Л.: Гидрометеиздат, 1986.
17. Коммунальная гигиена/К. И. Акулов, К. А. Бунтуева, Е. И. Гончарук и др. М.: Медицина, 1986.

18. Сидоренко Г. И. Гигиена окружающей среды. М.: Медицина, 1985.
19. Трёмбовля В. И., Фингер Е. Д., Авдеева А. А. Теплотехнические испытания котельных установок. М.: Энергия, 1991.
20. Методика теплового расчета котельных агрегатов. Нормативный метод. М.: Энергия, 1973.
21. Сборник методик по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами. Л.: Гидрометеониздат, 1986.
22. ГОСТ 17.2.3.02-78. Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ в атмосферу. М.: Изд-во стандартов, 1979.
23. Справочник химика. Л.: Химия, 1967. Т. 1.
24. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеониздат, 1979.
25. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценка экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды. М.: Экономика, 1986.
26. Временная методика нормирования промышленных выбросов в атмосферу. Расчет и порядок разработки нормативов предельно допустимых выбросов. М.: Госкомгидромет, 1981.
27. Галчихин В. М., Кальтман И. И. Математическая модель и алгоритмы выбора решений по снижению атмосферного загрязнения в ареале ТЭЦ и районных котельных // Теплоэнергетика. 1987. № 2. С. 53—56.
28. Руководство по проектированию санитарно-защитных зон промышленных предприятий. М.: Стройиздат, 1984.
29. Эколого-экономическое обоснование развития и функционирования объектов теплоэнергетики в городах / А. К. Внуков, В. С. Варварский, И. И. Кальтман и др. // Теплоэнергетика. 1987. 6. С. 42—46.
30. МТ 34-70-010—89. Методика определения валовых выбросов в атмосферу от котлов тепловых электростанций / Союзстхэнерго, 1984.
31. Внуков А. К., Якусевич С. А. Мазутное хозяйство ТЭЦ как источник загрязнения воздуха // Сб. тр. ВНИПИЭнергопрома. М., 1986.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Раздел первый. Состояние воздушного бассейна и роль энергетики в его загрязнении	4
1.1. Международные и отечественные нормативы токсичных выбросов котельными установками	4
1.2. Методы определения расхода выбрасываемых котлами токсичных соединений	8
1.2.1. Прямые измерения	8
1.2.2. Расчет расходов токсичных выбросов энергетическими котлами по конструктивным и режимным параметрам	9
1.2.3. Расчет расходов токсичных выбросов котлами малой мощности	13
1.3. Расчет выбросов углеводородов при хранении и перемещении нефтепродуктов	17
1.3.1. Основная расчетная модель и термодинамические свойства нефтепродуктов	17
1.3.2. Расчет выбросов углеводородов из мазутохранилищ	21
1.3.3. Определение максимальных выбросов углеводородов	23
1.4. Выбросы аэрозолей угля, золы и извести с площадки ТЭС	23
Раздел второй. Ручные и автоматические средства измерения концентрации токсичных компонентов	26
2.1. Подфакельные исследования состояния атмосферы в районе ТЭС	26
2.2. Отбор проб воздуха для определения концентрации токсичных компонентов	28
2.2.1. Пробы газов	28
2.2.2. Определение содержания аэрозолей	30
2.2.3. Наблюдения за факелом	31
2.3. Методы химического анализа состава воздуха	32
2.3.1. Определение диоксида серы с помощью хлористого бария	32
2.3.2. Определение диоксида серы тетрахлормеркуратным методом	34
2.3.3. Определение аэрозоля серной кислоты и растворимых сульфатов	38
2.3.4. Определение оксида азота	40 ²⁸
2.3.5. Определение диоксида азота	41
2.3.6. Раздельное определение оксида и диоксида азота	43
2.3.7. Определение концентрации пыли (аэрозолей) в воздухе	43
2.3.8. Расчеты концентрации вредных веществ по результатам анализов	45
2.4. Приборы для физического анализа состава дымовых газов	45
2.4.1. Газоанализатор оксида азота 344 ХЛ-04	45
2.4.2. Газоанализатор оксидов углерода, азота и серы оптико-акустический ГИАМ-10	46
2.4.3. Газоанализатор для определения массовой концентрации диоксида серы ФГ01-1	47

2.4.4. Многокомпонентный автоматический газоанализатор 305ФА-01	48
2.5. Приборы для физического анализа состава воздуха	48
2.5.1. Автоматический газоанализатор оксида углерода «Палладий 2М»	48
2.5.2. Автоматический газоанализатор диоксида серы 667ФФ-01	49
2.5.3. Газоанализатор SO_2 и H_2S «Атмосфера 1М»	50
2.5.4. Автоматический газоанализатор оксидов азота 645ХЛ-01	51
Раздел третий. Законы рассеивания токсичных выбросов в атмосфере	52
3.1. Физические принципы, область применения и некоторые особенности методов расчета	52
3.2. Расчет концентраций, обусловленных выбросами одиночного источника	53
3.2.1. Генеральная расчетная формула	53
3.2.2. Климатический коэффициент A	54
3.2.3. Коэффициент F , учитывающий сепарацию частиц золы	54
3.2.4. Коэффициенты m и n , учитывающие подъем факела над трубой	57
3.2.5. Расстояние x_m от источника до координаты максимума концентраций	58
3.2.6. Опасная скорость ветра u_m	59
3.2.7. Поправка r и p на скорость ветра	59
3.2.8. Коэффициент s_1 , учитывающий изменение концентраций вдоль факела	60
3.2.9. Поправка s_2 для определения концентраций в точках с координатами $x, y \neq 0$, не лежащих на оси факела	62
3.2.10. Поправка s'_1 на «опасную» скорость ветра в произвольной точке x	62
3.2.11. Поправка s_2 , учитывающая размещение реципиентов в высоких зданиях и сооружениях	64
3.2.12. Расчеты при выбросах газовойздушной смеси из источника с прямоугольным устьем	66
3.2.13. Обратные задачи	66
3.2.14. Основные символы и определения	67
3.3. Загрязнение атмосферы выбросами линейных источников	67
3.4. Внесение поправок, учитывающих влияние рельефа местности на приземную концентрацию рассеиваемого вещества	73
3.5. Загрязнения атмосферы, обусловленные выбросами группы источников и площадных источников	76
3.5.1. Приземная концентрация вредного вещества	76
3.5.2. Объединение мелких источников	77
3.5.3. Объединение идентичных труб ТЭС	80
3.5.4. Объединение идентичных холодных источников	80
3.5.5. Многоствольные дымовые трубы	80
3.5.6. Площадные источники	82
3.5.7. Расчет концентраций по вертикали	84
3.5.8. Обратные задачи	85
Раздел четвертый. Взаимодействие единичного источника или группы источников со сложившимся токсичным фоном. Проектирование новых и экологическое нормирование действующих объектов	86
4.1. Элементы математической статистики, используемые при расчетах и оценках загрязнения атмосферного воздуха	86
4.1.1. Введение и некоторые инженерно-физические аналогии	86
4.1.2. Краткие сведения о математическом аппарате статистики	91
4.2. Определение фоновых концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе	96
4.2.1. Сущность и нормативное определение понятия фона ...	96

4.2.2. Основные требования к наблюдениям и их обработке	97
4.2.3. Систематизация наблюдений	98
4.2.4. Математическая обработка результатов наблюдений	99
4.2.5. Расчет фоновых концентраций по данным инвентаризации	101
4.3. Задачи, решаемые на основе расчета приземных концентраций ...	102
4.3.1. Исходные предпосылки	102
4.3.2. Суммария вредного действия нескольких веществ	102
4.3.3. Взаимодействие концентраций, обусловленных ТЭС с фоновыми концентрациями	103
4.3.4. Определение минимальной высоты трубы	105
4.3.5. Разработка предельно допустимых и временно согласованных выбросов (ПДВ и ВСВ) для ТЭС и котельных ...	106
4.3.6. Определение границ санитарно-защитной зоны	109
4.4. Несогласованность расчетов рассеивания в атмосфере вредных веществ и нормирования их концентрации	110
4.5. Расчеты приземных концентраций на ЭВМ	116
Раздел пятый. Санитарно-гигиенические предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе	121
5.1. Биологическое содержание понятия ПДК и краткие сведения о методах их установления. Нормативные значения ПДК	121
5.1.1. Предельно допустимые концентрации длительного действия	121
5.1.2. Предельно допустимые концентрации, максимально разовые	129
5.2. Комплексный показатель загрязнения атмосферного воздуха	132
Раздел шестой. Санитарно-защитные зоны. Определения и законодательные акты	137
Раздел седьмой. Оценка эффективности мероприятий по охране воздушного бассейна	141
7.1 Основные принципы эколого-экономических расчетов	141
7.2 Расчет экологического ущерба от загрязнения атмосферы	143
7.3. Комплексные эколого-экономические расчеты. Межведомственная оптимизация	151
Раздел восьмой. Газоочистное оборудование	158
8.1. Электрофильтры	158
8.2. Батарейные циклоны	163
8.2.1. Батарейные циклоны БЦУ-М	163
8.2.2. Батарейные циклоны ЦБР-150-У	165
8.2.3. Батарейные циклоны БЦ-512	167
8.3. Мокрые золоуловители	167
8.3.1. Общие положения	167
8.3.2. Мокрые золоуловители МВ	169
8.3.3. Мокрые золоуловители МС	171
Список литературы	172